

BIM 기반의 설계단계 원가예측 시계열모델 -자재가격을 중심으로-

BIM Based Time-series Cost Model for Building Projects:
Focusing on Construction Material Prices

황 성 주*
Hwang, Sungjoo

박 문 서**
Park, Moonseo

이 현 수***
Lee, Hyun-Soo

김 현 수****
Kim, Hyunsoo

요 약

최근 도심지 고밀화에 따른 공간의 효율적 이용이 요구됨에 따라 대규모의 고층 사무공간이 증가하고 있으며, 이와 함께 주거, 상업, 문화 등 다양한 기능을 밀접하게 연관시킨 고층 복합시설도 점차 늘어가고 있다. 이러한 대형 건설 프로젝트는 긴 공사기간이 소요되어 공사비 예측이 쉽지 않으며, 막대한 비용이 투입되기 때문에 비용 예측의 중요성이 더욱 증대되고 있다. 이러한 상황에서 최근 극심한 경제변화에 따른 건설자재가격의 변동은 자재비를 포함한 공사비 예측을 어렵게 만드는 주요 원인이다. 따라서 본 연구는 건설자재단가 시계열자료를 활용, 미래의 자재단가 예측을 위한 시계열모델을 구축하고 복잡한 모델 프로세스를 간소화하는 자재별 최적 예측모델 도출시스템을 구축한다. 또한 Building Information Modeling (BIM)의 접근을 통해 자재의 투입시기 및 투입물량을 분석, 시계열모델을 통해 예측한 자재단가 예측 값과 조합함으로써 총 자재비를 포함하는 BIM기반 공사원가 예측 시계열모델을 제시한다.

본 연구는 시계열모델의 하나인 Autoregressive Integrated Moving Average(ARIMA)모델에 대한 예측력 비교를 통해 자재단가 예측을 위한 적합모델을 도출하였다. BIM기반의 원가예측 시계열모델은 자재의 투입시기별 자재단가 변동치를 예측함으로써 급변하는 경제 환경 변화에 대처할 수 있는 도구가 될 것이다.

키워드 : 자재비, 시계열, ARIMA, BIM, 원가예측

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 도심지 고밀화에 따른 공간의 효율적 이용이 요구됨에 따라 대규모의 고층 사무공간이 증가하고 있으며, 이와 함께 주거, 상업, 문화 등 다양한 기능을 밀접하게 연관시킨 고층의 복합시설도 점차 늘어가고 있다. 또한 전 세계적으로 랜드마크 구축을 위한 100층 이상의 초고층 빌딩 건설 또한 점차 증가하고 있다. 그러나 이러한 대형 건설 프로젝트는 막대한 건설비용이 투입됨에도 불구하고 유사사례 부족 및 긴 공사기간에 따른 불

확실성 증가로 인해 초기단계 건설비용 예측이 쉽지 않다. 뿐만 아니라 최근 수 년 간 잦은 경기변동으로 인해 건설투입자원의 인플레이션을 예측할 수 없어 설계가 완료된 이후에도 건설비용 예측의 오류가 발생할 가능성이 크다(Shane et al. 2009). 특히, 공사 원가 중 25%의 비중을 차지하는 자재비의 경우(대한건설협회 2008) 경제변화에 따른 변동 폭이 크기 때문에 총 공사 원가 예측의 어려움을 발생시키는 주요 원인 중 하나이다. 실제로 우리나라의 자재구매가격 변동에 대한 통계자료를 살펴볼 때, 철근의 경우 2008년을 기준으로 2001년 대비 약 3.3배 상승하였다(한국물가정보 2010). 또한 초고층 빌딩 등 대형 건설 프

* 일반회원, 서울대학교 건축학과 대학원 박사과정, nkkt14@snu.ac.kr

** 종신회원, 서울대학교 건축학과 부교수, 공학박사, mspark@snu.ac.kr

*** 종신회원, 서울대학교 건축학과 정교수, 공학박사, hyunslee@snu.ac.kr

**** 일반회원, 서울대학교 건축학과 대학원 박사과정, verserk13@naver.com

로젝트에서는 투입물량 규모가 크기 때문에 건설자재가격 변동이 공사원가 예측에 있어 핵심적인 요소이다.

따라서 본 연구는 설계단계에서 자재가격변동에 따른 건설비용 예측을 위해 자재단가변동 시계열자료를 분석, 자재 투입시기별 구매단가 예측을 위한 대형 건설 프로젝트 공사원가예측 시계열모델 프레임워크를 제안한다. 본 모델은 건설 프로젝트에 투입되는 자재별 적합 시계열모델 도출과정의 간소화 및 표준화를 위한 적합도 판정기준 제시 및 적합모델 도출시스템을 포함한다.

한편, 기존 원가관리 및 예측모델은 2D 도면을 기반으로 구축되어 건설 프로젝트의 자재비 예측을 위한 자재 투입시기, 투입물량정보 생성에 많은 제약이 있다. 따라서 본 연구의 자재비 중심 공사원가예측 시계열모델은 공사관리 원천정보를 활용한 통합형 공정관리를 위해 Building Information Modeling(이하 BIM) 기반으로 구축된다. BIM을 통해 건축물 구성요소(객체)를 바탕으로 투입자재의 종류, 투입시기, 투입물량에 대한 속성정보를 추출하고 투입시기별 자재단가 예측치를 반영함으로써 건설 프로젝트의 설계단계 원가예측 시계열모델을 개발한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 자재비 예측을 위한 BIM 기반 원가예측모델 구축을 위해 시계열예측방법을 활용한다. 시계열(Time-series)이란 시간의 흐름에 따라 일정한 간격으로 관측되어 기록되는 자료이다. 시계열모델은 이러한 자료를 모형화하여 과거의 값 및 그에 상응하는 오차를 분석함으로써 미래의 값을 추정 및 예측하는 방법으로(조담 2006, Ashuri and Lu 2010), 자재단가 예측을 위해 활용될 수 있다. 한편, 본 연구에서는 시계열예측방법 중 단변량 시계열예측을 위한 Box-Jenkins의 자기회귀이동평균모델(ARIMA: Autoregressive Integrated Moving Average)을 사용한다. 자재단가 예측모델을 위한 건설자재로는 최근 10년 간 가장 큰 변동 폭을 보인 철강재 이형철근을 선정하였으며, BIM 기반 자재비 예측모델 검증에 위해 레미콘(35MPa)의 자재단가 시계열자료를 활용한다.

본 연구의 진행은 다음과 같다.

- (1) 객체의 자재 속성에 대한 시계열모델 구축
 - 자재별 시계열자료 분석
 - ARIMA모델 예측 프로세스를 활용한 자재단가 예측
 - 자재별 최적 ARIMA모델 결정과정 간소화를 위한 적합도 판정기준 제시 및 적합모델 도출시스템 제안
- (2) BIM 기반 원가예측모델 Framework
 - BIM 기반 객체별 자재/물량정보 추출 로직
 - BIM 기반 원가예측모델과 시계열모델 연계방안 제시

- BIM 기반 자재단가 예측모델 제시 및 검증

2. 선행연구 분석

2.1 기존 문헌 분석

최근 건설 프로젝트가 점차 대형화됨에 따라 기획/설계 단계의 건설비용 예측이 중요한 화두가 되고 있다. Trost and Oberlender(2003)는 기획/설계 단계 공사원가 예측의 정확도 개선을 위해 공사원가에 대한 영향요인 분석 및 다중회귀분석을 수행, 공사원가 예측의 정확도를 비교 분석 하였다. Jrade and Alkass(2007)는 기존 사례 및 자동화된 관리시스템을 이용하여 공사 원가관리 모델을 구축하였다. Stoy 외 3인(2008)은 기획/설계 단계의 공사원가 예측에 요구되는 주요 영향변수를 회귀모형을 통해 비교·분석하였다. 그러나 초고층 빌딩 등 대형 프로젝트의 경우 회귀모형에 사용할 기존 사례가 아직 충분히 확보되지 못하여 기존 사례를 기반으로 한 공사원가 예측 방법론 적용이 어려운 단계이다. 또한 건설원가에 영향을 미치는 주요 변수들이 시계열자료로 구성되어 있기 때문에 시간변동을 반영할 수 없는 단순회귀모형은 자재단가 예측에 한계가 있다. 이에 따라 Shaheen 외 3인(2007)은 기획/설계단계 공사비 예측을 위해 Neurofuzzy를 활용한 자재단가 변동 해결방안을 제시하였다. Issa(2000)는 인공신경망 방법론을 이용하여 여러 영향요소에 따른 자재가격변동을 예측하고 건설공사비용 예측에 반영하였다. Lu and Abourizk(2009)는 시계열모델 중 Box-Jenkins가 제시한 ARIMA모델을 건설 산업에 적용할 수 있는 방법을 제시하였으며, Ashuri and Lu(2010) 또한 SARIMA모델을 이용하여 건설공사비지수를 예측하는 데 활용하였다. Ng 외 4인(2004)은 회귀-시계열 통합모델을 통해 홍콩 건설 프로젝트에 있어 입찰가격을 예측하였다.

본 연구는 시계열모델을 통한 건설 프로젝트의 주요 영향요소 분석방법에 착안하여 건설자재가격 변동 예측 시계열모델을 구축한다. 한편, 기존의 시계열예측모델을 활용한 연구들은 총 공사비지수 등 포괄적인 공사정보 예측이 대부분이었다. 이는 시계열모델이 구축 및 예측과정에서 복잡하고 반복적인 모델링 프로세스를 요구하기 때문에 자재단가와 같이 다양한 유형의 단가정보를 포함하는 시계열자료는 모든 자재에 대한 자재별 적합모델 결정에 많은 시간과 노력이 소요되기 때문이다. 또한, 자재단가 예측값을 도출하더라도 이를 활용하기 위해서는 자재의 투입시기 및 투입물량 등의 공사정보와 연계해야 하는 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 노력의 일환으로, 본 연구는 각 시계열모델의 표준화 된 적합도 판정절차를 제시하고, 복잡하고 반복적인 프로세스를 간소화하는 자재별 적합모델 도출시

시스템을 개발한다. 또한, BIM 기반의 공사원가 예측모델 프레임워크를 제안함으로써 자재단가 예측정보의 활용도를 극대화하고 공사정보와의 연계방안을 도출한다.

2.2 시계열 모델 예측 프로세스

본 연구에서 활용하는 단변량 시계열 방법 중 Box-Jenkins의 ARIMA모델은 확률 및 수리통계 원리에 근거하여 과거 관측값들의 추세 및 순환요인, 계절성 등을 파악하여 미래에 대한 예측 값을 결정한다(정동빈 2009). ARIMA 모델의 분석 및 예측 프로세스는 그림 1과 같다.

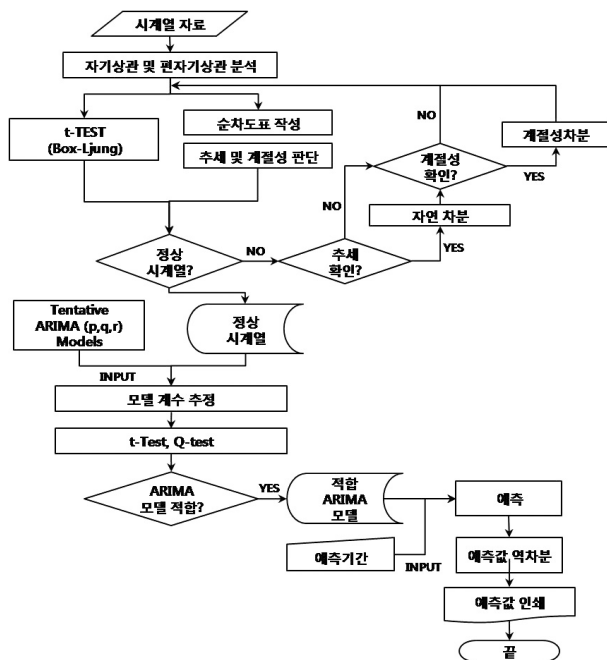


그림 1. ARIMA 모델 프로세스 [Lu and Abourizk 2009]

ARIMA모델은 자료 계열의 평균이 정상성(Stationary)을 갖는 자료에 적용되는 모델로서 (1) 식별 - (2) 추정 - (3) 검진의 절차를 통해 시계열 자료 예측에 활용된다. 먼저, (1) 식별단계에서는 시계열자료의 정상성을 판단하고 ARIMA(p,d,q)를 구성하는 자기회귀(Autoregressive: AR) 요소 p와 이동평균(Moving Average: MA) 요소 q를 임시 결정한다(정동빈 2009, Ng et al. 2004). 이 과정에서 시계열자료의 추세요인과 계절변동요인이 확인될 경우에는 차분(d: differencing) 및 계절차분을 취하여 정상시계열로 변환한다. p와 q 값은 관측값 사이의 자기상관함수(Autocorrelation Function: ACF) 및 편자기상관함수(Partial Autocorrelation Function: PACF)를 통해 잠정적인 값이 추려진다.

(2) 추정단계에서는 식별단계에서 잠정적으로 결정된 모델의 계수 값을 추정하고 통계적 유의성 검증을 통해 모델의 적합성을 판단한다. 이 과정에서는 잔차제곱합(Sum of Squared Residual: SSR)을 최소로 만드는 값을 찾는 최소제곱법이 사용된다. 또한 추정된 계수값의 유의성을 검증하기 위해 평균제곱오차의 제곱근(RMSE), 정상 R제곱 값 등과 정규화된 BIC (Normalized Bayesian Information Criterion)값 등을 고려한다(정동빈 2009).

(3) 검진단계에서는 추정된 모델의 통계적 적합성을 결정하는 단계로 잔차의 백색잡음과정(평균이 0 이고 분산이 일정한 시계열과정)의 검증을 주로 한다. 이러한 절차를 만족하는 ARIMA 모델 중 사후예측을 통한 예측력 비교를 통해 시계열 자료의 미래 값 예측을 위한 최종모델로 결정한다.

2.3 BIM (Building Information Modeling)

BIM은 객체 기반 파라메트릭(Parametric) 모델링 방법으로 벽과 창문 등 건물 구성요소들의 분류를 정의함으로써 건축 모델을 생성, 전달, 분석하는 과정들의 집합이다(Eastman et al. 2007). 따라서 각 객체는 기하학적 형상정보 뿐만 아니라 원가, 물량 등 속성정보와 같은 비공간적 정보, 그리고 그들의 파라미터와 규칙에 의해 표현된다. 본 연구에서는 BIM으로 설계된 건물 객체에 입력된 속성정보 중 자재정보, 자재의 물량정보, 자재가 사용되는 Activity 정보, Activity의 Start Time 속성정보, 자재의 입고일 정보를 추출한다. 이후 시계열 모델을 통해 예측된 자재의 구매예정일 별 단가 예측치 정보를 조합, 각 시기별 자재비용을 분석 및 예측함으로써 총 자재가격 예측치를 판단하는 모델을 구축한다.

3. 자재 단가 예측 시계열 모델

본 연구는 자재비 예측을 위한 BIM 기반 원가예측모델 구축의 일환으로 자재단가변동 예측 값에 대한 속성정보 추출을 위해 시계열모델을 구축한다. 본 모델은 Box-Jenkins의 ARIMA모델을 활용, 자재단가의 과거 시계열자료를 통해 미래의 값 예측에 가장 적합한 ARIMA(p,d,q)모델을 도출한다. 자재단가 예측모델을 위해 선정한 철강재 이형철근 중 고장력 철근 SD400(D51, 15.9Kg/m, 서울 기준)의 ton당 가격에 대한 2000년 12월부터 2010년 8월까지의 시계열 자료를 이용한다. 이 중 2009년 6월 이후의 값은 도출된 모델의 예측력 비교를 위해 활용한다. 그림 2는 위의 자재에 대한 2000년 12월부터 2009년 8월까지의 시계열 자료이다.

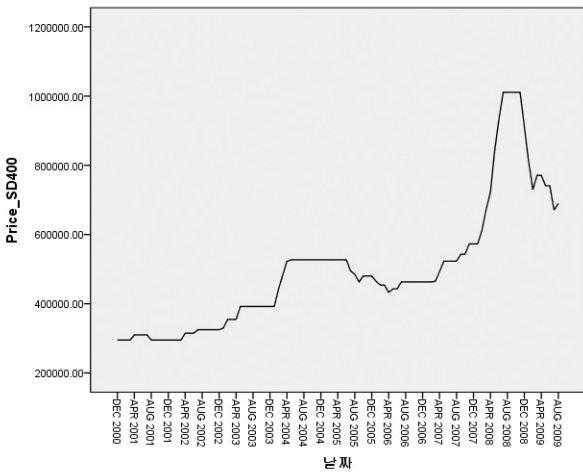


그림 2. 월 단위 철근단가 시계열 자료 [한국물가정보 2010]

3.1 잠정적 ARIMA모델 결정

ARIMA모델은 시계열자료 계열의 평균 및 분산이 정상성 (Stationary)을 갖는 자료에 적용되는 시계열 예측 모델이다. 그림 2의 철근단가 시계열자료는 1차 또는 2차 함수 형태의 추세를 갖는 자료로써 평균이 정상성을 갖는 시계열 자료로의 변환을 위해 차분 (d=1 또는 2)을 수행하였다. 그림 3은 차분을 통해 변환된 시계열 자료이다.

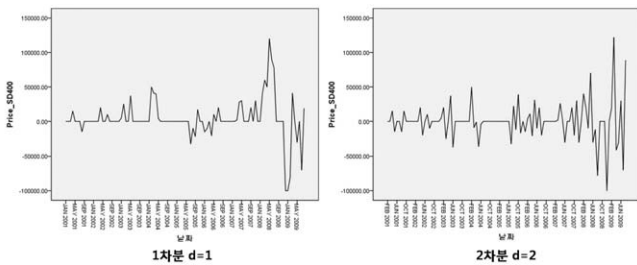


그림 3. 1차 및 2차 차분된 시계열 자료

이와 같이 차분에 의해 변환된 자료를 통해 평균의 정상성을 확인할 수 있다. 본 자료에서는 특별한 계절성을 판별할 수 없기 때문에 계절변환은 요구되지 않으나 분산의 비정상성을 확인할 수 있다. 이 경우 자연로그 변환 (Logarithmic transformation) 또는 Box-Cox 멱변환 (Power transformation) 등을 통해 분산을 정상화 하는데 본 모델에서는 가장 일반적이고 단순한 방법인 자연로그 변환을 통해 그림 4와 같이 분산을 정상화 시킨다.

이후 본 연구에서는 철근단가예측 적합모델 결정을 위해 자기회귀계수(p), 이동평균계수(q), 차분(d) 값을 결정한다. 일반적으로 ARIMA모델이 요구하는 원칙 중 하나인 모수절약의 원칙에 따라(정동빈 2009, Ng et al. 2004) 0~2까지 p, q 값 및 위에 설

명한 차분 값 d=1 또는 2의 값 중 통계적으로 유의하고 가장 정확한 예측력을 보이는 계수를 결정한다.

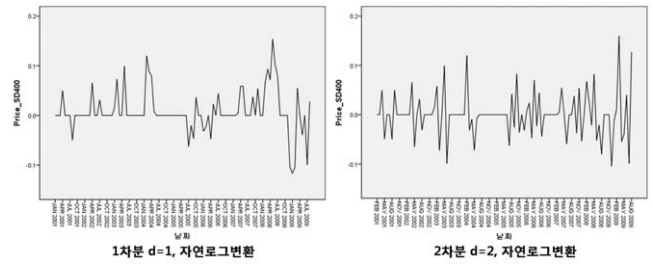


그림 4. 1차 및 2차 차분 및 자연로그 변환 된 시계열 자료

3.2 모델 결정

ARIMA 모델은 k시차만큼 떨어진 관측 값과의 자기상관계수 (ACF) 및 편자기상관계수(PACF)를 분석함으로써 잠정적인 p, q 값을 결정한다. 다음 표 1은 1차 또는 2차분 및 자연로그 변환된 시계열자료의 편자기상관계수를 분석한 결과이다.

표 1. 시차별 추정된 편자기상관계수

시차	1차분 및 자연로그변환		2차분 및 자연로그변환	
	편자기 상관	표준오차	편자기 상관	표준오차
1	0.440	0.098	-0.362	0.099
2	0.130	0.098	-0.139	0.099
3	-0.046	0.098	-0.147	0.099
4	-0.013	0.098	-0.199	0.099
5	0.067	0.098	-0.034	0.099
6	-0.093	0.098	-0.002	0.099
7	-0.119	0.098	-0.002	0.099
8	-0.134	0.098	-0.253	0.099
9	0.136	0.098	-0.140	0.099
10	0.051	0.098	0.026	0.099
11	-0.113	0.098	-0.118	0.099
12	0.030	0.098	-0.175	0.099
13	0.106	0.098	0.101	0.099
14	-0.186	0.098	0.071	0.099

편자기상관계수 분석 결과 시차 k=1에 대한 자기상관이 가장 유의한 것으로 판단된다. 이에 따라 p=1, 2 또는 q=1, 2 로 잠정 결정하고 모델 적합도 통계량에 따라 가능한 후보군을 다음 표 2와 같이 분류하였다. 본 후보군은 0~2 까지의 값을 갖는 p, d, q 값의 조합으로 생성된 모델 중 모수 추정 값 및 잔차들의 자기상관검증에서 통계적으로 유의하지 않은 모델을 제외하였다. 모델 적합도 판정을 위해 작을수록 적합도가 높은 평균제곱오차제곱근(RMSE), 평균절대백분위오차(MAPE), 정규화 된 BIC 및 클수록 적합도가 높은 정상 R 제곱 값을 활용하였다. 또한 적합

ARIMA모델은 잔차들이 이론적으로 독립이어야 하기 때문에 잔차 자기상관검증 Q-통계량의 유의확률이 0.05 이상인 경우에 채택한다.

표 2의 적합도 결과에 따라 본 연구에서는 철근단가 예측모델로 ARIMA(1,1,0) 및 ARIMA(0,1,2) 모델을 잠정적으로 채택하였다. 채택된 두 가지 모델의 각 계수에 대한 모수추정 값 및 관련 통계량은 표 3과 같다.

표 2. 모델 적합도 판정

모델	모델 적합 통계량				잔차상관검증 Ljung-Box Q(18)	
	평균제곱 오차 제곱근 (RMSE)	평균절대 백분위 오차 (MAPE)	정상 R제곱	정규화된 BIC	통계량	유의확률
ARIMA(1,1,0)	24236.2	2,527	0.194	20,281	14,904	0.602
ARIMA(0,1,1)	25659.1	2,606	0.143	20,395	20,778	0.236
ARIMA(0,1,2)	24237.3	2,523	0.203	20,330	16,842	0.396
ARIMA(1,2,0)	26434.5	2,675	0.142	20,455	23,978	0.120

표 3. 각 모델의 모수 추정값

모델	상수항		AR 1차		MA 1차		MA 2차	
	추정값	유의 확률	추정값	유의 확률	추정값	유의 확률	추정값	유의 확률
ARIMA(1,1,0)	0.008	0.211	0.437	0.000	-	-	-	-
ARIMA(0,1,2)	0.008	0.180	-	-	-0.355	0.000	-0.284	0.005

3.3 자재별 최적 예측모델 도출시스템

앞서 수행한 바와 같이, 기존의 ARIMA 예측 프로세스는 변환된 자료를 통한 자기상관계수 분석 및 그에 따른 잠정모델 도출과정과 다양한 적합도 판정기준에 따른 최적 모델 도출과정에서 모델러의 자의적 판단을 요구한다. 또한 이러한 판단과정이 시스템에 의해 자동으로 결정되기 보다는 반복적인 결정과정을 통해 이루어진다. 특히, 철근 자재를 비롯한 기타 다양한 자재에 대해 위와 같은 과정을 수차례 반복적으로 시행하는 것은 총 자재비 예측과정의 효율을 저해하는 요소이다. 따라서 본 연구는 각 자재별 시계열자료 입력 시 각 자재에 맞는 최적 ARIMA모델을 출력하는 최적 예측모델 도출시스템을 구축한다. 그림 5는 자재 별 최적 ARIMA모델 도출시스템의 Framework이다. 본 시스템은 Microsoft사의 Excel 2007을 통해 구현되며, 시스템에 자재단가 시계열자료를 입력하면 시차별 자기상관계수 및 추정된 계수 값, 적합도 기준에 따른 결과 값 등이 자동으로 계산되도록 구성되었다.

또한 본 시스템은 자의적이고 반복적인 모델 결정과정을 표준화·간소화하기 위해 미리 0~2 까지의 값을 갖는 p, d, q 값의

조합으로 생성된 모델을 후보군으로 설정한다. 이후 계수추정 및 잔차 자기상관검증과정에서 통계적으로 유의한 모델만이 시스템을 통해 자동으로 추출된다. 추출된 후보군에 대해 각 모델별로 계수 적합도 판정기준인 정규화 된 BIC값 및 모델 적합도 판정기준인 RMSE, MAPE, MAE, 정상 R제곱 값이 계산된 후, 그 값에 따라 각 모델 별 적합도 Score가 부여된다. 각각의 적합도 Score는 적합모델 후보군의 적합도 값 평균과의 차이를 통해 결정되며, 최종의 적합도 Score는 각 적합도 기준 별 Score의 합으로써 추출된다.

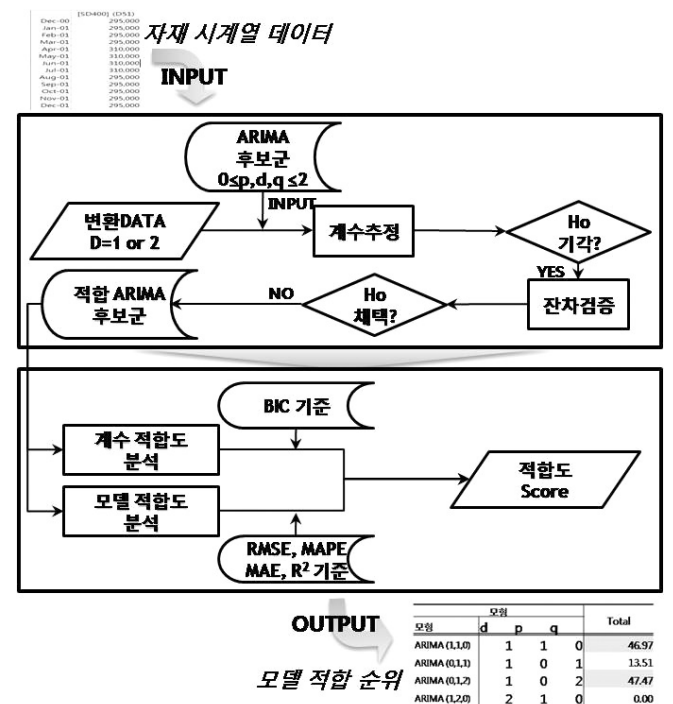


그림 5. 자재별 최적 ARIMA 모델 도출 시스템 Framework

즉, 시스템에서 각 자재단가에 대한 시계열자료가 입력되면 적합모델 후보군 및 적합도 Score뿐만 아니라 모델의 적합도 순위가 출력된다. 다음 그림 6은 자재별 최적 예측모델 도출시스템의 결과로 나타나는 화면을 나타낸다. 결과 값에서 ARIMA(0,1,2) 모델이 가장 높은 적합도를 나타내며 ARIMA(1,1,0)모델은 두 번째로 높은 적합도를 나타낸다. 이는 앞서 기존 시계열 프로세스를 통해 잠정적으로 결정한 결과와 같다. 결정된 두 가지 모델은 적합도 Score에서 큰 차이를 나타내지 않으므로 모델 사후예측을 통한 예측력 비교를 통해 최종 모델을 결정한다.

이처럼 본 시스템은 통계적 검증에 따른 모델의 유의성 판정절차에 따라 적합모델 후보군을 자동으로 걸러내고, 적합도 판정기준에 대해 적합도 Score를 부여함으로써 최적의 적합모델을 객관적·시스템적으로 도출할 수 있다. 뿐만 아니라 자재단가 시계열

자재단가의 급증 및 급락세 등 다양한 변동성을 관찰할 수 있는 시계열데이터가 누적되어야 하며, 이 경우 자재단가에 대한 장기적인 예측도 가능할 것으로 판단된다.

4. BIM 기반 원가예측 시계열기 모델

본 연구는 위에 제시한 자재단가변동 예측 시계열모델을 바탕으로 BIM 기반 자재비 예측모델 Framework를 제시한다. BIM 기반 원가예측 시계열모델은 크게 (1) BIM 기반 객체별 속성정보 추출 및 물량산출모델 (2) 시계열모델을 이용한 자재단가 예측모델 (3) 객체별 물량정보, 자재의 Activity정보 및 자재입고일 정보, 자재단가 예측치정보 등을 활용한 자재비 중심의 원가예측모델로 구성된다.

4.1 BIM 기반 속성정보 추출 및 물량산출 과정

그림 9는 BIM 기반 원가예측모델에 활용 가능한 객체의 속성정보 추출로직 및 추출된 속성정보를 활용한 각 객체의 작업시기별 물량산출 프로세스이다.

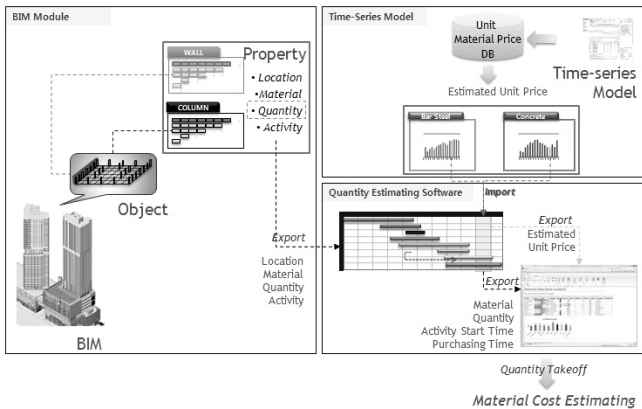


그림 9. 물량산출 및 속성정보 추출 로직

먼저, BIM모듈에서 각 객체는 설치위치 및 구역별로 구분되어 고유의 ID를 부여받는다. 각 객체에는 객체를 구성하는 자재의 종류뿐 아니라 해당자재의 길이, 면적, 부피정보가 포함된다.

추출된 각각의 객체에 대한 속성정보는 본 연구에서 제시하는 원가예측모델에 반영된다. 원가예측모델은 시계열예측모델 및 공정계획모델과도 연동되는데, 추출된 객체의 작업위치 및 작업 구역에 따른 개략적 작업시간을 공정계획모델과 매치하여 객체를 구성하는 자재의 입고일 속성정보를 가져온다. 또한 추출된 객체를 구성하는 자재의 입고날짜에 해당하는 자재단가 예측 값을 시계열모델에서 가져온다. 이에 따라 원가예측모델은 각 객체

의 고유 ID에 해당하는 자재의 물량정보, 작업시간 및 자재입고일 정보, 자재단가정보를 포함한다.

4.2 원가 예측모델 Framework

그림 10은 자재단가변동을 반영한 BIM 기반 원가예측모델에 대한 Framework를 보여준다.

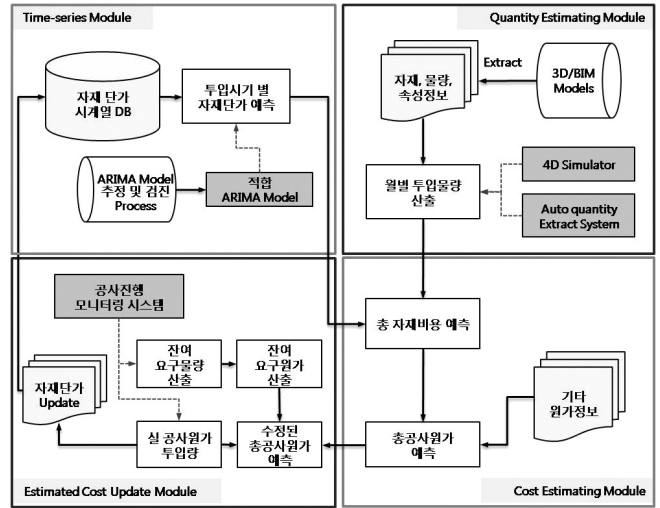


그림 10 원가 예측 모델 Framework

먼저 위에 설명한 것과 같이 BIM 기반 3D모델을 통해 객체의 자재, 작업위치, 물량에 대한 속성정보를 추출하고 이를 통해 월별 투입물량을 산출한다. 시계열모델을 통해 각 자재의 시계열자료 예측에 적합한 ARIMA모델을 추정 및 검진하고 선택된 각 자재별 적합 ARIMA모델을 통해 자재투입시기 별 단가예측 값을 추출한다. BIM 기반 속성정보 추출모델 및 시계열모델에서 추출한 각 객체의 자재정보, 자재의 월별 투입물량정보, 자재의 투입시기별 단가예측 값 정보는 원가예측모델에 반영된다.

원가예측모델에서는 입력된 객체별 속성정보를 활용하여 총 자재비용을 예측하고 기타 원가정보를 반영하여 총 공사원가를 예측한다. 한편, 공사 진행에 따라 잔여요구물량은 점차 감소하게 되며, 자재단가에 대한 시계열자료 또한 주기적으로 업데이트 된다. 따라서 업데이트된 자재단가 시계열자료를 바탕으로 잔여 투입자재에 대한 자재단가 예측치는 시계열모델을 통한 재 추정을 통해 좀 더 정확한 값으로 수정된다. 이 같은 과정에 의해 수정된 총 공사원가 예측치는 실 공사원가 투입량과 잔여 요구원가 예측치의 합으로 업데이트 된다. 즉, 본 연구의 BIM 기반 공사원가 예측모델은 설계단계의 공사원가 예측 뿐 아니라 공사 진행 중 원가 예측치 변동을 파악하는 데에도 활용될 수 있다.

한편, 그림 11은 BIM 기반 원가예측 시계열모델의 실제 활용

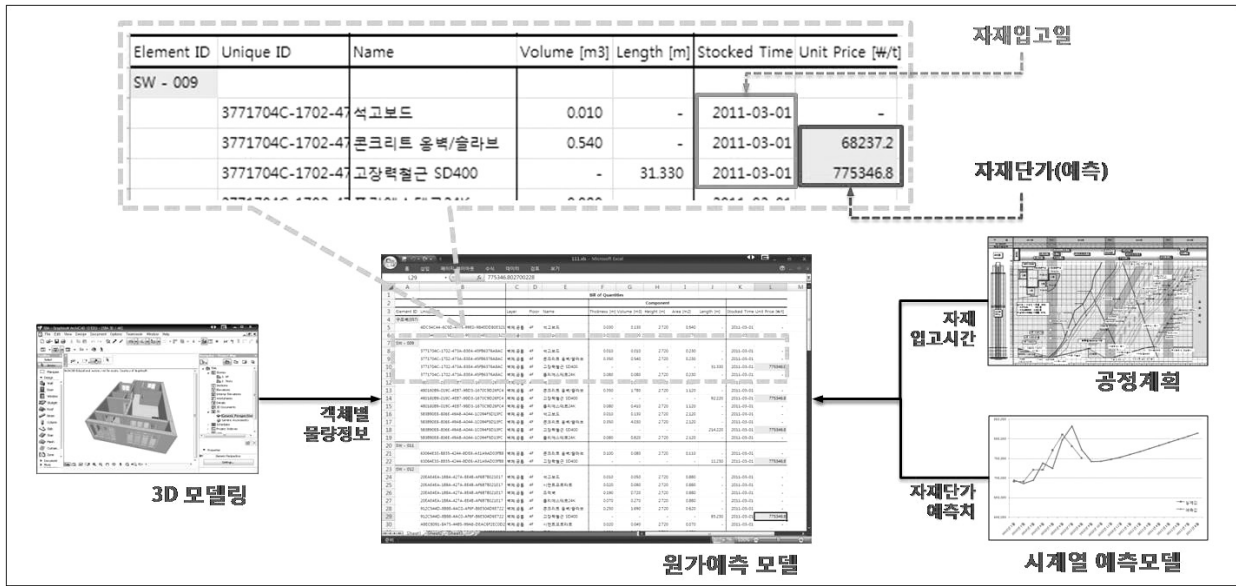


그림 11. 원가 예측 모델 활용 예시

예시를 나타낸다. 그림의 원가예측 모델 Framework에 대한 적용성을 검증하기 위해 ArchiCAD 13을 활용한 서울 망우 철도부지 활용 보급자리 주택건설사업 설계안 중 일부에 대한 모델링 파일을 활용하였다. 본 연구의 원가예측모델에는 BIM 기반 모델링파일에서 추출한 각 객체의 속성정보가 입력되어 있다. 모델에는 벽, 슬래브 등 각 객체의 특성 및 위치, 각 자재의 고유 ID 및 자재의 종류, 물량정보, 자재입고일 정보, 자재단가 예측치가 반영된다. 자재입고시간은 공정계획과 연동되어 입력되며, 자재 중 철근단가 예측치는 시계열 예측 모델에서 추출된 값이다. 이를 통해 공사에 투입되는 자재에 대한 투입시기별 투입비용을 예측할 수 있다. 즉, 자재단가에 대한 속성정보는 시계열모델을 통해 자재투입시기 및 자재종류를 파악, 적합모델을 결정하고 적합모델에 의한 투입시기별 단가 예측 값으로 입력된다.

한편, 현재 BIM 모델링 소프트웨어는 철근 배근 모델링에 기술적 한계가 있으며, 이에 따라 3D모델 자체에서 철근물량에 대한 산출이 쉽지 않고, 산출한다 하더라도 정확성 측면에서 문제가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 제시된 모델 Framework의 검증에 위해 3D모델 내의 자재 크기정보에 따른 물량산출이 상대적으로 용이한 콘크리트를 선정하였다. 이 중 RMC 35Mpa(슬럼프 18, 사용골재 25mm, 서울 기준)의 1m³당 가격에 대한 2000년 12월부터 2010년 8월까지의 시계열 자료를 이용한다(한국물가정보 2010). 콘크리트 단가 시계열자료를 앞서 제시한 최적 시계열모델 도출시스템에 입력한 결과 ARIMA(1,1,1)모델이 적합모델로 출력되었으며, 2011년 3월 입고 예정인 구조벽 SW-009부분의 0.54 m³에 해당하는 콘크리트는 약 68,200원/m³의 단가를 보일 것으로

예측되었다.

이와 같이 사용자는 원가예측의 정확성을 위해 모든 자재에 대해 시계열모델을 활용하여 예측치를 입력할 수 있으며, 예측의 편의성을 고려할 경우 철근, 콘크리트 등 투입량이 많고 가격변동이 심한 자재에 대해서만 선택적으로 자재단가를 예측하여 반영할 수 있다.

5. 결론

본 연구는 최근 심화되고 있는 자재가격변동에 따른 공사비용 예측요구를 최소화하기 위해 시계열모델을 통한 자재가격변동 예측 중심의 설계단계 공사원가 예측모델 Framework를 제시하였다. 본 모델은 건설 프로젝트에 투입되는 자재별 적합 시계열 모델 도출과정의 간소화 및 표준화를 위한 적합도 판정기준 제시 및 최적 예측모델 도출시스템을 포함한다. 또한 본 모델은 예측된 자재단가정보의 추출 및 입력과정에서의 활용도를 높이기 위해 객체의 속성정보를 활용하는 BIM 기반으로 구축되었다.

본 연구모델은 건설자재 중 가장 큰 변동 폭을 보이는 철근단가에 대한 시계열자료를 바탕으로 최적 시계열예측 프로세스를 통해 자재에 적합한 ARIMA모델을 도출하고, 사후예측 함으로써 철근단가의 향후 12개월 변동 치에 대한 예측력을 비교·평가하였다. 예측 값은 BIM 기반 원가예측모델에 반영되어 총 공사비변동을 파악하는 데 활용될 수 있다. 즉, BIM 모델 내 객체위치 및 작업구역 등의 속성정보를 통해 자재 투입시기 및 투입물량에 관한 속성정보를 추출하고, 시계열모델에서 추출한 자재단

가 예측치 속성정보와 조합함으로써 모델을 구성하였다. 이에 따라 미래의 자재단가변동을 반영할 수 있어 원가예측의 정확도를 높일 수 있다. 또한 본 연구모델은 활용 편의성을 위해 사용자가 단가변동이 크고 투입량이 많은 자재에 대하여 선택적으로 단가를 예측할 수 있다.

본 공사원가 예측 시계열모델은 투입자원의 단가변동을 예측함으로써 급변하는 경제 환경 변화에 대처할 수 있는 도구가 될 수 있다. 특히 투입물량이 막대하고 긴 공사기간에 따른 건설환경 변동 가능성이 큰 초고층 프로젝트에 가장 적합할 것으로 판단된다. 또한, 복잡하고 반복적인 예측과정 절차를 표준화한 자재별 최적 적합모델 도출시스템에 자재단가 시계열자료 입력할 경우 각 자재에 맞는 최적모델이 바로 출력되기 때문에 모델링 과정에서 모델러의 자의적 결정을 최소화하고, 다양한 자재들에 대해 활용도를 높일 수 있으며, 예측 과정에 소요되는 시간과 노력을 줄일 수 있다. 뿐만 아니라 BIM 기반의 모델구축은 물량 산출이 어려운 비정형 구조 건축 공사에도 활용도가 높을 것으로 기대된다.

본 연구에서 제시한 모델은 자재단가변동 기반의 공사원가 예측 모델로서, 향후 모델의 활용도를 증가시키고 신뢰성 있는 예측력을 확보하기 위해 몇 가지 향후 연구가 필요하다. 먼저, 자재단가의 변동에 영향을 미치는 외부 경제변수들이 존재하는 바, 변수 간 연관관계를 분석하고 영향변수를 도출한 후에 다변량 시계열 모델을 구축할 필요가 있다. 이후 단변량 시계열 모델과 다변량 시계열 모델의 예측력을 비교·분석하여 최적의 모델을 도출한다면 자재 단가 예측 가능성에 대한 타당성을 더욱 확보할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 현재 BIM 모델링 소프트웨어는 철근배근 모델링에 많은 비용과 시간이 투자되며 기술적 한계가 발생하고 있다. 이에 따라 철근물량산출이 쉽지 않거나, 산출량에 있어 큰 오차를 보이기도 한다. 따라서 철근에 대한 BIM 기반 3D모델링 소프트웨어 발달이 선행되어야 본 연구모델의 활용도가 증대될 수 있다.

추가적으로, 직종별 노무단가변동에 대한 시계열자료를 활용할 경우 자재비변동 뿐 아니라 노무비변동 예측을 포함하는 공사원가 예측모델로 확장될 수 있다. 한편, 현재 2001년 이후부터 공개되어 있는 건설 투입자원 단가에 대한 시계열자료는 자재단가의 급등 또는 급락 등 다양한 변동성 및 장기적 경제순환 사이클을 반영하지 못하는 제약이 있다. 향후 투입자원의 시계열자료가 체계적으로 축적되고 관리된다면 더욱 정확한 예측 값을 얻을 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(과제 번호 # '09 첨단도시 A01)에 의해 수행 되었습니다.

참고문헌

- 대한건설협회 (2008). “완성공사원가통계 개황”, 대한건설협회 보고서, pp1-16, <<http://www.cak.or.kr/>> (2010.12.21).
- 정동빈 (2009). SPSS-PASW 시계열 수요예측 1, 한나래아카데미, pp.11-186.
- 조담 (2006). 금융계량분석, 도서출판 청담, pp.193-253.
- 한국물가정보(KPI). “주요 건설자재 물가정보 서비스” <<http://www.kpi.or.kr/>> (2010.12.21).
- Ashuri, B. and Lu, J. (2010). “Forecasting ENR Construction Cost Index: A Time Series Analysis Approach”, Construction Research Congress 2010, ASCE, pp.1345-1355.
- Eastman, C. Teicholz, P., Sacks, R., and Liston, K. (2008). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, John Wiley & Sons Inc., USA, pp.25-64.
- Issa, R. A. (2000). “Application of Artificial Neural Networks to Predicting Construction Material Prices”, Proceedings of the Eighth International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, ASCE, pp.1129-1132.
- Jrade, A. and Alkass, S. (2007). “Computer-Integrated for Estimating the Costs of Building Project”, The Journal of Architectural Engineering, 13(4), pp.205-223.
- Lu, T. and Abourizk, S. M.. (2009). “Automated Box-Jenkins Forecasting Modeling”, Automation in Construction, 18(5), pp.547-558.
- Ng, S. T., Cheung, S. O., Skitmore, M., and Wong, T. C. (2004). “An Integrated Regression Analysis and Time Series Model for Construction Tender Price Index Forecasting”, Construction Management and Economics, 22(5), pp.483-493.
- Shaheen, A. A., Fayek, A. R., and Abourizk, S. M. (2007). “Fuzzy Numbers in Cost Range Estimating”, The Journal of Construction Engineering and Management, 133(4), pp.325-334.
- Shane, J. S., Molenaar, K. R., Anderson, S., and Schexnayder, C. (2009). “Construction Project Cost Escalation Factors”, Journal of Management in

Engineering, 25(4), pp.221-229.

Stoy, C., Pollalis, S., and Schalcher, H. (2008). "Drivers for Cost Estimating in Early Design: Case Study of Residential Construction", The Journal of Construction Engineering and Management, 134(1), pp.32-39.

Trost, S. and Oberlender, G. (2003). "Predicting Accuracy of Early Cost Estimates Using Factor Analysis and Multivariate Regression", The Journal of Construction Engineering and Management, 29(2), pp.198-204.

논문제출일: 2010.10.05

논문심사일: 2010.10.08

심사완료일: 2011.01.21

Abstract

High-rise buildings have recently increased over the residential, commercial and office facilities, thus an understanding of construction cost for high-rise building projects has been a fundamental issue due to enormous construction cost as well as unpredictable market conditions and fluctuations in the rate of inflation by long-term construction periods of high-rise projects. Especially, recent violent fluctuations of construction material prices add to problems in construction cost forecasting. This research, therefore, develops a time-series model with the Box-Jenkins methodologies and material prices time-series data in Korea in order to forecast future trends of unit prices of required materials. BIM (Building Information Modeling) approaches are also used to analyze injection time of construction resources and to conduct quantity takeoff so that total material price can be forecasted.

Comparative analysis of Predictability of tentative ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) models was conducted to determine optimal time-series model for forecasting future price trends. Proposed BIM based time series forecasting model can help to deal with sudden changes in economic conditions by estimating future material prices.

Keywords : *Material Price, Time-series Model, ARIMA Model, BIM, Cost Estimating*
