

원자재 조립·가공과정을 갖는 건설공사 프로세스의 적정 재고관리 방안에 관한 연구

Inventory Management in Construction Operations Involving on-site Fabrication of Raw Materials

임 건 순* 한 승 현** 정 도 영*** 유 충 규**** 최 석 진****
Im, Keon Soon Han, Seung Heon Jung, Do Young Ryu, Chung Kyu Choi, Seokjin

요 약

건설현장에서는 일반적으로 많은 양의 자재재고를 보유해 왔다. 이러한 자재재고는 현장의 불확실한 수요에 대응하여 공정지연을 방지하고, 원자재 가격 상승으로 인한 비용증가에 대비하는 등 순기능적 측면이 있다. 하지만 과도한 자재재고는 재고보유에 소요되는 재고유지비를 증가시키고 현장물류 및 공간배치의 효율성을 저하시키는 등 낭비요인으로 작용하기도 한다. 따라서 현장의 다양한 변동성을 고려하여 적정 자재재고 수준을 결정하고 관리하는 것은 건설공사의 효율성 측면에서 매우 중요한 요소이다. 본 연구는 시스템 접근방법의 절차에 의하여 철근가공·조립공정과 같이 현장에 투입되기 이전에 원자재 조립·가공과정을 갖는 건설 프로세스를 분석하고 이러한 흐름과정에서 재고수준을 적정화 하는 알고리즘을 제시하였다. 이러한 재고관리 방안의 적용성을 확인하기 위하여 수도권지역 경전철 건설사업의 철근 가공장에서의 재고관리 사례를 분석하였다. 본 연구에서 제안한 알고리즘을 적용한 결과, 현장의 실제 철근 소요량과 가공장에 입고되는 철근 원자재의 입고량이 균형을 이루었고, 이에 따라 평균 재고량과 재고유지비용이 크게 감소되는 것으로 나타났다.

키워드 : 적정 재고관리, 재고비용, 생산성, 재주문점, 적정 지연기간(여유기간)

1. 서 론

1.1 연구의 배경

건설산업에서 자재와 관련된 비용은 프로젝트의 특성에 따라 다르지만 일반적으로 원가구성비 측면에서 전체 공사원가의 40%이상을 차지하고 있어 비용관리 측면에서 그 중요성이 매우 높다(이상범, 2004). 일반적으로 건설현장은 건설자재의 부분적인 매입이 어려울 뿐만 아니라, 자재부족으로 인한 공정지연 발생 및 원자재 가격 상승으로 인한 비용증가에 대비할 필요가 높

기 때문에 필요이상의 많은 자재를 보유하려는 경향이 있다. 특히 철근의 경우는 건설공사에서의 쓰임이 광범위하고 건설현장 안·밖의 여러 변동요인들에 의해 자재수급에 영향을 크게 받기 때문에 일반적으로 1개월 이상의 여유 재고를 보유하는 것으로 알려지고 있다.

그러나 필요이상의 과도한 재고는 유지비용을 증가시키고, 자재적치를 위한 넓은 공간을 확보해야 하므로 실질적으로 필요한 공간사용에 제약을 주고, 현장 내 물류이동에 비효율성을 초래하게 된다. 또한 건설공사에 사용되는 자재는 그 종류가 다양하기 때문에 재고량이 클수록 자재의 분류 및 보관 등 자재 관리가 어려워 생산성을 저하시키는 낭비요인으로도 작용한다. 이와 같이 건설현장에서의 자재재고는 현장의 전체적인 작업흐름을 안정시키는 기능을 하지만 현장관리에서 여러 가지 문제점들을 유발하고 이에 따른 각종 비용지출을 수반하기 때문에 적정 수준의 재고규모를 유지하는 것이 중요하다.

최근 업체 상호간의 경쟁이 치열해지고 건설공사의 수익환경이 어려워짐에 따라 건설업체들은 건설생산 프로세스의 효율성을 개선하기 위하여 기존 생산관리시스템의 변화를 모색하고 있

* 일반회원, 연세대학교 토목환경공학과 대학원 박사과정, ksim21c@empal.com
 ** 종신회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 부교수, shh6018@yonsei.ac.kr
 *** 일반회원, 대림산업 기술연구소 연구원, jungdy@daelim.co.kr
 **** 일반회원, 연세대학교 토목환경공학과 대학원 석사과정, rck69@hanmail.net
 ***** 일반회원, 연세대학교 토목환경공학과 대학원 석사과정, sjchoi@yonsei.ac.kr

다. 특히 자재부문에 있어서 자재의 구매 부문과 외주업체 관리를 통합하여 실시함으로써 기업의 경쟁력을 높여려는 시도들이 이루어지고 있다. 하지만 이러한 변화는 건설 산업의 특성상 본사차원의 구매와 외주관리 부문에만 해당하고, 각 현장단위에서의 재고관리에는 영향을 미치지 못하고 있는 것이 현실이다. 건설회사 생산과 관리의 기지역할을 담당하는 현장의 경우 원가절감과 원활한 작업흐름, 생산성 향상을 위한 체계적인 재고관리의 필요성이 큰데 비해 재고관리를 위한 적절한 기법과 시스템이 미흡하여 현장 관리자의 경험과 직관에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 제조과학(factory physics)의 이론적 개념을 바탕으로 건설공사 현장을 중심으로 한 효율적인 적정 자재재고 관리방안을 도출하고 이를 체계화하여 실제사례에 적용함으로써 그 효과를 확인하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 철근가공·조립작업과 같이 현장작업에 투입되기 이전에 원자재를 가공하는 과정을 갖는 건설공사 프로세스를 대상으로 현장 가공장(temporary fabrication plants)에서의 재고관리 현황 및 문제점을 파악하고 이의 적정재고관리 방안을 제시한다. 이러한 작업프로세스는 모듈화 방식이 확산되면서 최근 건설현장에 많이 도입되고 있는 선작업 방식의 일환으로서 자재재고관리의 효과가 큰 대표적인 공정의 하나이다. 먼저 이론적 배경에서 본 연구의 전체적인 틀을 이루는 시스템 분석과정에 대하여 알아보고 재고관리 시스템을 설계하는데 적용되는 개념인 통계적 재고 모델과 주문생산방식, 재고생산방식 등에 대하여 살펴본다. 이렇게 시스템 분석과정의 고찰을 통해 도출된 재고관리 시스템 분석과정에 따라 기존의 프로세스를 분석하고 프로세스상의 특성과 문제점을 도출한다. 그리고 이렇게 도출된 문제점들을 보완할 수 있는 적정 자재재고 관리방안을 수립하고 이를 시스템화 한다. 마지막으로 제시된 재고관리 방안의 적용성을 검증하기 위하여 수도권 경전철 현장의 철근 가공장 작업 프로세스 사례에 본 연구의 모델을 적용하여 그 성과를 제시하고 현장관계자와의 인터뷰를 통하여 실효성과 한계점을 제시한다.

2. 연구동향 및 이론적 배경

2.1 연구동향

자재관리와 관련된 연구는 린 건설(Lean Construction)과 적

시생산(Just-In-Time: JIT) 등의 개념을 적용하여 관련된 낭비요소를 제거하고 기존의 밀어내기 생산방식(push system)에서 당김 생산방식(pull system)으로 전환하려는 노력들을 위주로 이루어져왔다. Arbulu et al.(2002, 2003)은 건설공사에서 적시생산의 칸반(Kanban)기법을 적용하기 위한 전략을 제시하였고, 생산과정에서의 작업흐름과 자재의 공급을 연계하는 전략을 바탕으로 콘크리트 조달과정에 풀 방식을 적용한 사례를 제시하였다. 이러한 기법들은 작업의 신뢰성(work-flow reliability)이 전제되어야 제 기능을 발휘할 수 있다. 하지만 현실적으로 건설 현장에서는 제조업에서처럼 높은 작업신뢰도를 충족시키기가 어렵기 때문에 건설생산 요소들의 변동성에 의한 영향을 완충시켜 줄 수 있는 여유장치(buffer)가 제조업에 비해 더 필요하게 된다. 자재재고(material inventory)도 이러한 완충장치 중에 하나라고 할 수 있다. 최근에는 이러한 자재재고 또는 자재버퍼의 속성과 건설생산 시스템 내에서의 역할 등을 규명하고 자재재고 수준이 미치는 영향력을 분석하여 적정 재고수준을 구하려는 연구들이 많이 이루어지고 있다. Tommelein과 Weissenberger(1999)는 철근 조립, 설치 공정에서의 자재 재고 분석을 통하여 철근공정은 일정수준의 자재재고가 필요하다는 결론을 내리고 자재재고가 어떻게 효율적으로 활용될지에 대해 제안하였다. Horman과 Thomas(2005)는 철근조립 및 설치공정에서 자재 재고수준과 노동생산성 성과비교를 통해 두 인자사이의 관계를 분석하고 적정 자재 재고수준을 실험적으로 제시하였다.

국내에서는 런던 히드로 공항에 린 건설의 원리를 적용한 사례가 발표되었다(구본상 외 2006). 이 연구에서는 특히 자재 주문 과정에 풀 방식을 적용하여 리드타임과 재고를 감소시킨 효과를 제시하고 있다. 적정 재고수준 도출을 위한 연구로는, 6시그마 개념을 도입하여 자재재고에 따른 핵심영향인자의 시그마 수준을 분석하고 그에 따라 적정자재 재고수준을 결정하려는 연구가 수행되었다(한승헌 외 2006). 그밖에 건설공사에서 여러 가지 자재 주문량을 결정하는 모델들을 비교분석하여 가장 적합한 방식을 찾고 이에 의해서 적정 주문량을 결정하고 재고비용을 분석하는 방법에 대해서도 연구되었다(김상훈 외 2004).

이와 같이 건설 산업에 있어서 자재재고는 일반적으로 낭비요인으로 인식되고 있기 때문에 린 건설과 JIT 개념을 적용하여 재고를 최소화하려는 연구들이 이루어지고 있으며, 이와 함께 건설공정의 변동성을 완충시킬 수 있는 자재재고의 역할규명과 함께 적정 재고수준 도출에 대한 연구도 이루어지고 있다. 이는 린 건설과 JIT의 무재고 관점이 건설공사에 적용되는데 한계가 있음을 인식하고 연구의 초점이 무재고 관점에서 적정 재고수준을 설

정하기 위한 최적관리 개념으로 대체되고 있음을 의미한다.

하지만 기존의 연구들에서는 적정 재고수준이 현장의 변동성이나 공사의 스케줄을 고려하여 유동적으로 관리되어야 함에도 불구하고, 현장 변화요인에 따른 수요량을 고려하지 않고 결정론적으로 재고수준을 제시하는 한계를 보이고 있다. 또한 현장에서 이루어져야 할 실질적인 프로세스 개선방안이 제시되지 못하고 개념적인 연구로 그치는 경우가 많았다. 본 연구는 기존의 연구에서 미흡했던 자재의 확률적 수요량에 따라 어떻게 적절한 재고수준을 도출하고 공사의 진행과정과 재고수준을 연계시켜 관리할 것인지에 대해 시스템적이고 확률적인 모델링 기법으로 접근하고자 한다.

2.2 본 연구의 접근방법

건설현장에서 발생하는 여러 가지 관리적인 문제들을 해결하기 위해서는 문제를 시스템 관점에서 접근할 필요가 있다. 본 연구에서 분석하고자 하는 대상 프로세스는 현장 인근의 원자재 가공장을 중심으로 현장 공구, 원자재를 생산하는 공장이 포함되며 각각 다양한 하위시스템에 의하여 지원되는 작업흐름들로 구성된 시스템이다. 이러한 프로세스 분석 작업에서 전체적인 시스템을 살펴보지 못하고 어떤 부분이 제외가 된다면 효과적인 문제해결 방법을 도출하기 어려울 것이다. 이러한 시스템 관점에서의 분석방법은 구조화된 문제해결 방법으로써 여러 분야에 걸쳐 적용되고 연구되어져 왔다(Hopp and Spearman 2000).

시스템 분석과정은 운영분석, 시스템 설계, 실행, 평가의 네 단계로 구분된다(Hopp and Spearman 2000). 이러한 기본적인 네 단계를 기본으로 하여 본 연구에서는 대상 프로세스의 재고관리 시스템 분석절차를 표1과 같이 제시하였다. 이와 같은 분석절차에 따라 현재의 시스템을 체계적으로 분석하고 효율적인 재고관리 방안을 도출하도록 한다.

그리고 전통적인 재고관리 모델들에서는 많은 요소들이 확정적인 값으로 가정되어 현실상황을 반영하기에 한계가 있었다. 예를 들어 제조업의 생산계획에서 가장 널리 사용되는 재고모델

로서 통계적 재주문점 방법이 있는데, 여기서는 재고관리 문제를 다음과 같이 두 부분으로 나누어서 분석하고 있다. 첫째, 일정 재고수준을 유지하기 위해 매 보충시점마다 구입하여야 할 주문량의 결정, 둘째, 재고의 보충이 필요한 재주문점의 결정이다(Anupindi et al, 2005).

그림1은 이 모델에서의 재고 흐름의 패턴을 보여준다. 재고는 지속적으로 관찰되는데 반해 수요는 임의적으로 발생한다. 이 모델은 적절한 재주문점과 주문량을 결정하는 것이 주된 목적으로 하며, 재주문점과 주문량 결정에는 재고부족 현상에 대비한 안전재고가 고려된다. 이런 문제를 다루는 모델을 (Q,r) 모델이라고도 한다(Hopp and Spearman 2000). 하지만 이러한 모델에서도 수요량 이외의 다른 요인들을 동시에 확률적으로 고려하는 것에는 한계가 있으며 이를 확정적으로 가정해야 하는 문제들이 발생한다.

본 연구에서는 이러한 한계점을 고려하여 재주문점과 주문량을 결정하는데 있어 시뮬레이션을 이용한 확률적 방법론을 제시하고자 한다. 시뮬레이션을 통하여 재고관련 비용을 최소화하는 목적함수를 최적화시킴으로써 적정 주문량과 재주문점을 구할 수 있으며, 이를 통하여 적정 재고수준을 결정하고자 한다.

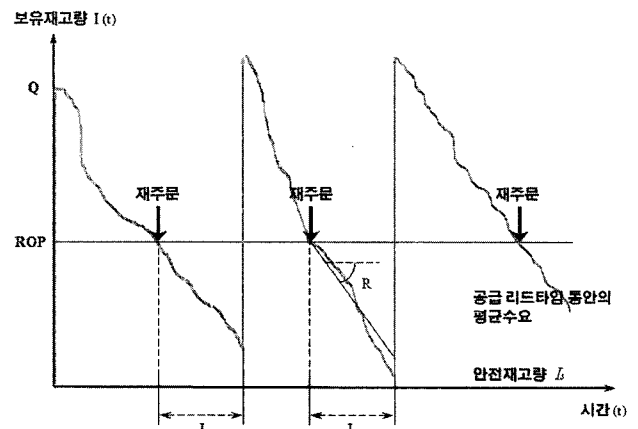


그림 1. 통계적 재고 모델에서의 재고흐름

아울러 건설현장에서는 각 공종별로 투입자재 및 생산프로세스가 다르고 현장마다 조건이 상이하기 때문에 조건에 따라 적절한 생산방식을 선택해야 한다. 생산관리 분야에서 다루는 대표적인 생산방식에는 재고생산방식(Make to Stock; MTS), 주문 후 완료방식(Finish to Order; FTO), 주문생산방식(Make to Order; MTO)이 있으며 생산방식별 특징은 표2와 같다(신용백, 2004). 재고생산방식은 제품 및 자재의 종류가 한정되어 있고, 공정계획에 의한 수요예측이 어느 정도 정확한 경우에 유리하고, 주문생산방식은 제품 및 자재의 종류가 다양하고 공정계

표 1. 재고관리 시스템 분석절차

단계	세부내용	관련기법
운영분석	<ul style="list-style-type: none"> 목적설정/제약조건 도출 기존 시스템 분석 모형화 통계변수 구체화 	<ul style="list-style-type: none"> 현장관찰 및 설문조사, 인터뷰 Business Process Design(BPD) Influence Diagram
시스템 설계	<ul style="list-style-type: none"> 구체적 대안 도출 통제수준 최적화 	<ul style="list-style-type: none"> 확률적 모델링
실행	<ul style="list-style-type: none"> 사례 적용 성과 비교 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 몬테카를로시뮬레이션 최적화 기법
평가	<ul style="list-style-type: none"> 현장관리자 인터뷰 각 단계로 피드백 	<ul style="list-style-type: none"> 인터뷰 및 설문조사

획에 의한 변동성이 큰 경우에 적합하다. 주문 후 완료방식은 재고생산방식과 주문생산방식의 중간 성격을 갖는다.

본 연구의 원자재 가공과정을 갖는 프로세스에서는 원자재 가공과정에서의 재고와 가공품 설치과정에서의 재고가 각각 그 특징 및 성격을 달리하므로 한 가지 통일된 생산방식을 적용시키는 것보다는 프로세스를 세부적으로 구분하여 생산방식을 달리 적용하는 것이 더 효율적이다. 이에 대한 자세한 분석결과는 시스템 모형화 부분에서 설명하도록 한다.

표 2. 생산방식별 특성

구분	재고생산방식 (MTS)	주문 후 완료방식 (FTO)	주문생산방식 (MTO)
방법	• 원자재 등의 제품을 재고로 쌓아두고 생산주문을 기다리는 방식	• 부품단위(생산 중간단위)까지는 미리 만들어 놓고 최종 주문에 의하여 생산	• 주문이 들어오면 주문에서 요구하는 대로 생산하여 제공
장점	• 짧은 주문 이행 시간	• 비교적 짧은 주문 이행 시간 • 적은 완제품 재고 • 유연성과 대응력 우수	• 낮은 진부화 위험
단점	• 많은 제품 재고 • 최종제품에 대한 수요예측 필요 • 제품/부품의 진부화 위험	• 일반적으로 다른 형태로 구성된 부품표 요구 • 부품의 진부화 위험	• 긴 주문 이행시간

3. 재고관리 시스템 분석 및 모형화

본 연구에서는 앞서 이론적 배경에서 언급한 시스템 접근방법 절차에 의하여 원자재 가공과정을 갖는 재고관리 시스템을 분석하고 적정 수준의 재고를 관리하기 위한 방안을 제시하고자 한다. 이 단계에서는 목적설정 및 제약조건 도출, 기존 시스템 분석을 통한 문제점 도출, 시스템의 모형화 작업, 모형의 통제변수 구체화의 작업이 순차적으로 이루어진다.

3.1 목적설정 및 제약조건 도출

본 연구에서는 건설공사 자재관리 업무에 있어서 실질적으로 재고가 발생하는 원자재 가공장을 중심으로 이와 연결된 원자재 생산공장, 현장공구를 분석범위로 설정하였다. 그리고 가공장 운영방식은 대규모 공사 현장에서 많이 적용하고 있는 현장인근에 철근 등의 원자재 가공기계를시스템을 도입하여 작업하는 현장 가공장 운영방식으로 설정하였다. 최근에는 여러 현장에서 주문을 받아 가공작업을 실시하는 전문 가공공장 방식도 이용되고 있지만 이러한 방식은 불특정 다수의 현장으로부터 주문을 받아 생산을 하기 때문에 현장단위의 상호관계 속에서의 적정 재고 관리 방안 도출이 힘들고, 또한 적용사례가 많지 않기 때문에 현장단위 가공장 방식으로 연구범위를 정하였다. 마지막으로 적정 재고수준을 도출하기 위해서는 여러 가지 영향요인들을 하나의

기준으로 통합하여 평가해야 하기 때문에 재고수준에 의하여 영향을 받는 모든 요소들은 경제적 비용으로 표현된다는 가정 하에 본 연구를 진행하였다.

3.2 기존재고관리 시스템 분석 및 문제점 도출

앞서 제시한 목적과 분석범위 하에서 기존의 재고관리 시스템을 분석하여 시스템 상의 문제점을 도출하였다. 이 과정에서 수도권 권 건설현장의 철근가공장 실무담당자 및 관리책임자와의 3회에 걸친 면담조사 및 관찰조사를 통해 기존 시스템이 갖는 주요 문제점들을 도출하였다. 원자재 가공과정을 갖는 프로세스는 원자재 생산공장(예, 철근생산공장), 현장 원자재 가공장(예, 현장용 철근가공장), 현장 공구(예, 교량의 기초공사 공구) 사이의 자재와 정보의 흐름으로 이루어진다. 이러한 프로세스상의 재고관리는 다음과 같은 문제점을 갖는 것으로 나타났다.

첫째, 적정 재고에 대한 개념이 부족하여 자재의 입·출고가 가공장 관리자의 경험과 직관에 의존하고 있었다. 이로 인해 일반적으로 한달분 이상의 과도한 양의 원자재 재고(inventory buffer)를 보유하고 있었으며 보관 및 관리상에 어려움을 겪고 있을 뿐만 아니라, 이에 따른 추가 유지비용도 소모되고 있었다.

둘째, 건설공사는 여러 가지 변화 및 변이에 따른 공정계획의 변동성으로 인해 자재소요량의 변화가 심하므로 현장 수요예측을 위한 체계적인 시스템이 필요하다. 그러나 현실적으로 이러한 현장의 변동성을 고려할 수 있는 시스템적 접근이 미흡하여 원자재 가공장 차원에서 현장공구의 가공품 또는 조립품 수요에 적절히 대응하는데 한계가 있었고, 이를 완충하기 위해 필요 이상의 시간버퍼(time buffer)를 갖는 경향을 보였다.

셋째, 원자재를 주문하여 입고되는 데까지 걸리는 시간인 자재조달 리드타임은 원자재 생산공장의 상황과 운반여건 등에 의하여 지연될 수 있는 변동성을 가지므로 보유 재고수준을 너무 낮게 유지할 경우 공정지연의 위험성이 있다. 그러나 이러한 자재 재고부족으로 인해 초래될 수 있는 공정지연 또는 현장작업 중단 등의 경제적 영향에 대한 비용적 측면의 고려가 미흡하여 적정재고수준을 설정하는데 한계가 있었다.

넷째, 원자재 가공품은 현장공구에서 주문 후에 정확한 시공 도면에 의해서 작업이 이루어지는 주문생산 방식이기 때문에 이론적으로는 예비재고가 필요가 없다. 하지만 보통은 현장공구에서 필요로 하는 날짜보다 어느 정도 여유기간을 두고 작업을 하기 때문에 작업 완료 후 현장으로 출고되기 전까지 야적장에서 일정기간 보유해야 하는 가공품 재고가 불가피하게 발생하고 있었다.

3.3 시스템의 모형화

재고관리 시스템에서 구성요소간의 상호작용과 핵심적인 사항들을 보다 명확히 하여 핵심관리요소를 도출하기 위해서는 시스템을 단순화하여 모형으로 구성하는 것이 필요하다. 시스템의 모형화는 프로세스 설계기법(Business Process Design; 이하 BPD)을 이용하여 구성하였다. BPD에서 프로세스의 구조는 입력물(inputs)과 출력물(outputs), 흐름단위(flow units), 작업과정(network of activities), 버퍼(buffers), 자원(resources), 정보구조(information structure)로 이루어진다(Anupindi et al. 2005). 이러한 BPD개념을 바탕으로 하여 원자재 가공과정을 갖는 프로세스를 모형화하면 그림2와 같다.

그림2에서 볼 수 있듯이 가공장 내의 총 재고량은 원자재 재고, 재공품 재고(work in process; WIP), 가공품 재고의 합으로 나타낼 수 있다. 여기서 재공품 재고는 대기장소에 머무르면서 배치(batch)를 위해 기다리거나, 이동을 위해 또는 짝을 맞추기 위해 기다리는 형태로서 시스템 내에 존재하는 재고를 의미한다. 본 연구에서는 가공장 내부의 생산 프로세스에 초점을 두고 있지 않고 원자재의 조달과 가공품의 입·출고 관리에 의한 재고관리를 목표로 하고 있으므로 원자재 재고와 가공품 재고의 적정 재고관리 방안을 제시하는 것으로 한다.

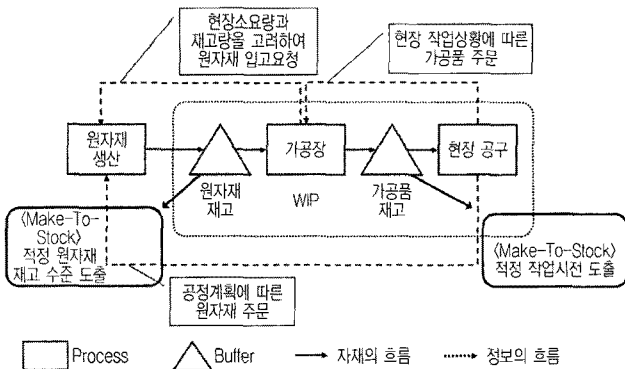


그림 2. 재고관리 시스템의 모형화

그리고 원자재 생산 공장의 상황에 따라 자재 조달 리드타임에 변화가 발생하지만 건설업체 입장에서 원자재 생산 공장의 내부 상황까지 통제하기는 현실적으로 어렵다. 따라서 건설업체 차원에서는 통제가 불가능한 원자재 생산공장은 통제변수 범위에서 제외하고, 현장공구와 현장가공장 차원에서 실행할 수 있는 재고관리 모델구축에 초점을 맞추는 것으로 한다.

먼저 위에서 구분된 재고를 특별로 살펴보면, 원자재 재고는 원자재 생산 공장으로부터 입고된 원자재 재고가 가공작업에 투입되기 전에 가공장 야적장에서 대기함으로써 발생된다. 가공

장에서는 작업이 지속적으로 이루어지기 때문에 필요한 원자재를 일정 수준이상 미리 확보하여야 할 필요가 있다. 따라서 가공장으로의 원자재 입고는 재고생산방식(MTS)을 따르게 되며 적정 원자재 재고수준을 도출하는 것이 시스템의 적정화에 중요한 요소가 된다. 이때 적정수준의 원자재를 확보하기 위해서는 이러한 재고수준을 유지하기 위한 재주문점(ROP)과 주문량(OQ)의 도출이 필요하다.

반면에 가공품 재고는 가공장에서 생산된 조립가공품이 현장공구로 출고되기 전에 가공장에서 대기함으로써 발생된다. 가공품은 현장공구로부터 주문 후에 정확한 시공 상세도면(Shop drawing)에 의해 생산이 이루어지기 때문에 미리 제작해 놓을 수가 없다. 따라서 가공품 생산은 주문생산방식(MTO)에 가까우며 주문된 가공품의 조립작업을 어느 시점에 시작하느냐가 중요한 요소이다. 작업을 너무 일찍 시작할 경우 현장에 출고되기 전 가공장에 대기하는 시간이 길어지고, 너무 늦게 할 경우에는 현장에서 요구한 날짜에 작업을 끝내지 못할 가능성이 커지기 때문이다. 따라서 가공품 재고에 대해서는 적정 여유기간(적정 time lag)의 도출이 시스템 적정화의 중요 요소가 된다.

3.4 통제변수의 구체화

시스템의 모형화를 통하여 각 재고별 특성에 따라 중요 관리요소를 도출하고 재고수준에 영향을 미치는 영향요소들을 구체화하기 위하여 그림3과 같이 재고 영향도를 작성하였다. 재고 영향도는 영향도 기법(Influence Diagram)을 이용하여 작성하였다. 영향도 기법은 의사결정과 목적함수에 영향을 미치는 주요 영향요인들을 시각적으로 나타내는 기법으로써 재고수준에 영향을 미치는 인자들을 도출하여 통제변수를 구체화하는데 유용하게 사용될 수 있다.

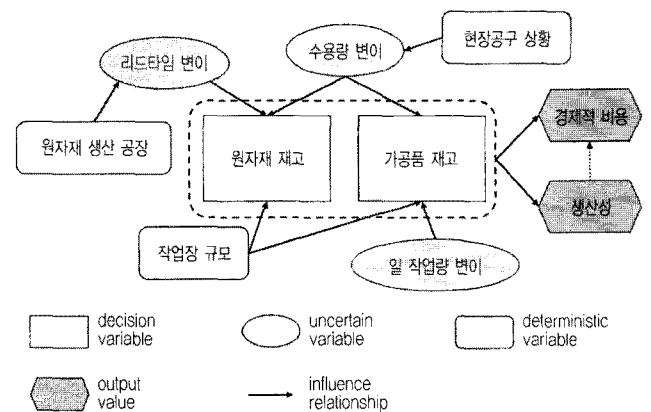


그림 3. 재고수준 영향도

위 영향도를 살펴보면 프로세스 내의 재고수준은 현장공구의 작업상황에 의한 수요량 변이, 자재 조달 리드타임 변이, 가공장 작업장 규모, 가공장의 일일 작업량 변이 등에 영향을 받는다. 수요량 변이는 현장공구의 상황에 따라 확률적인 값을 갖는데, 예를 들어 현장이 외부의 영향을 많이 받는 도심지에 위치하게 된다면 수요량 변이는 커지게 될 것이고 반대로 외부의 영향을 많이 받지 않아 공정계획의 변화가 적은 주택공사 같은 경우는 수요량 변이가 작게 될 것이다. 마찬가지로 리드타임 변이도 원자재 생산 공장의 상황에 따라 확률적인 값을 갖게 된다. 원자재 공장의 상황에 대한 평가는 현장 관리자의 공장에 대한 신뢰도를 기준으로 무작위도착함수를 부여하는 방식으로 구할 수 있다. 가공장의 일 작업량도 가공장의 상황에 따라 확률적인 값을 가지며 가공품 재고 수준에 영향을 미친다. 작업장 규모는 제약 조건으로써의 구속역할을 한다.

이러한 인자들로 인해 결정된 재고의 수준은 당해 현장의 경제적 비용에 영향을 미친다. 재고의 수준이 과도하면 재고유지비용이 증가하고, 관리의 어려움과 작업장 내 이동에 간섭을 받게 됨으로써 생산성이 감소한다. 반면에 재고의 수준이 낮을 경우는 재고품절(stock out) 확률이 증가하여 재고부족비용이 증가하고, 자재부족에 따른 작업의 지연으로 생산성이 떨어진다. 재고수준에 따른 생산성의 영향은 최종적으로 재고유지비용 및 재고부족비용의 경제적 비용으로 귀결된다. 본 연구에서는 재고수준에 따라 영향을 받는 경제적 비용을 최소화시키기 위해 적정 원자재 재고수준과 적정 가공품 작업 시점을 도출하는데 시스템 적정화의 목적을 두는 것으로 한다.

4. 적정 재고관리 방안

앞의 시스템 운영분석을 통해 도출된 내용을 바탕으로 일반화된 적정 재고관리 방안을 제시하기 위해서는 구체적인 대안을 도출하는 시스템 설계단계가 필요하다. 본 연구에서는 이를 원자재 재고관리와 가공품 재고관리로 나누어 고찰하기로 한다.

4.1 원자재 재고관리 알고리즘

4.1.1 통계적 재고모델의 적용

필요한 시기에 필요한 양의 원자재가 즉시 공급될 경우에는 원자재 재고를 보유할 필요가 없지만 수요와 공급의 변이가 심한 건설현장은 이러한 무재고가 현실적으로 매우 어렵다. 따라서 원자재 재고 관리에서는 현장상황에 맞는 경제적인 적정 재

고수준을 도출하고 이것을 기준으로 하여 재고를 안정적으로 유지시켜주는 전략이 중요하다.

현재 국내 건설현장에서 이루어지고 있는 일반적인 자재주문 및 재고관리 시스템은 고정주문간격 시스템이다. 고정주문간격 시스템은 시간을 위주로 한 주문 시스템으로써 건설현장에서는 일반적으로 주문 간격을 1개월로 하고 1개월간 필요물량을 집계하여 한꺼번에 주문하고 있다. 이러한 고정주문간격 시스템이 개선된 형태가 현장 가공장 주문 시스템인데, 가공장에서는 현장의 소요량과 가공장 내의 재고량을 고려하여 가공장에 입고되는 원자재를 조절하는 방식을 취하고 있다. 하지만 이것은 명확한 규칙과 기준에 의한 것이 아니고 현장 관리자의 직관과 경험에 의해 이루어지는 것이기 때문에 현장 관리자의 성향에 따라 결과가 달라진다. 따라서 과거 실적치 또는 통계자료를 기초로 중요 변수들에게 확률적인 값을 부여하고 최적의 재고수준을 도출하기 위해서는 통계적 재고 모델 개념의 확장이 필요하다.

통계적 재고 모델에서의 적정 재고 수준 결정은 주문량 또는 매 보충시점마다 구입하거나 생산될 재고량과, 재주문점 또는 보충이 행해질 때의 재고수준을 결정함으로써 이루어진다. 기존의 통계적 재고 모델에서는 비확률적 공식에 의하여 주문량을 결정하고 자재의 조달 리드타임 동안의 평균수요량에 안전재고를 합하여 재주문점을 설정하는 방식을 취하였다. 본 연구에서는 현장의 일정계획에 의한 수요량을 바탕으로 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo simulation)을 이용하여(Moore and Weatherfore, 2001), 재고관련비용을 최소화하기 위한 주문량과 재주문점을 결정하는 방안을 제시하였다.

4.1.2 시뮬레이션 모델

시뮬레이션 모델은 마이크로소프트 엑셀환경에서 애드 인(add in)하여 간편하게 사용할 수 있는 Crystal Ball 7.2를 이용하여 구축하였다. Crystal Ball은 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 스프레드시트(spreadsheet) 모델의 리스크와 불확실성을 분석하여 값을 예측할 수 있는 기능을 제공하고 있다.

Crystal Ball에서 시뮬레이션을 실행하기 위해서는 먼저 엑셀 스프레드시트 모델을 구성하여야 하며 스프레드시트 내의 셀(cell)은 가정(assumption), 결정(decision), 예측(forecast)의 세 가지 속성을 필요로 한다. 가정 셀을 통해서 셀 내의 값에 확률분포 및 속성을 부여하여 확률적인 값을 갖게 할 수 있고, 결정변수는 모델에서 결정되어야 할 요소를 말하며 상한값과 하한값을 정하여 그 범위 내에서 의사결정을 내릴 수 있게 한다. 예측을 통해서 최종적으로 알고자 하는 목적 값의 목적함수를 지정하여

가정과 결정변수에 의하여 목적 값을 확률적인 형태로 예측할 수 있다.

원자재 재고 관리 모델의 속성은 표3과 같고 엑셀 스프레드시트의 모델 순서도는 그림4와 같다. 시뮬레이션을 실행하기 위해서는 재고관련비용과 초기재고량을 확정값으로 입력하고, 조달리드타임과 현장 수요량에 확률분포를 부여한 후, 주문량과 재주문점의 범위를 지정해주어야 한다. 시뮬레이션은 분석기간을 설정하여 이루어지며 그림4와 같은 과정이 분석기간의 말일까지

표 3. 원자재 재고관리를 위한 스프레드시트 모델의 속성

속성	확률적 변수가정 (assumption)	결정 (decision)	예측 (forecast)
셀 값	'리드타임, 수요량'	'주문량, 재주문점'	총 재고비용

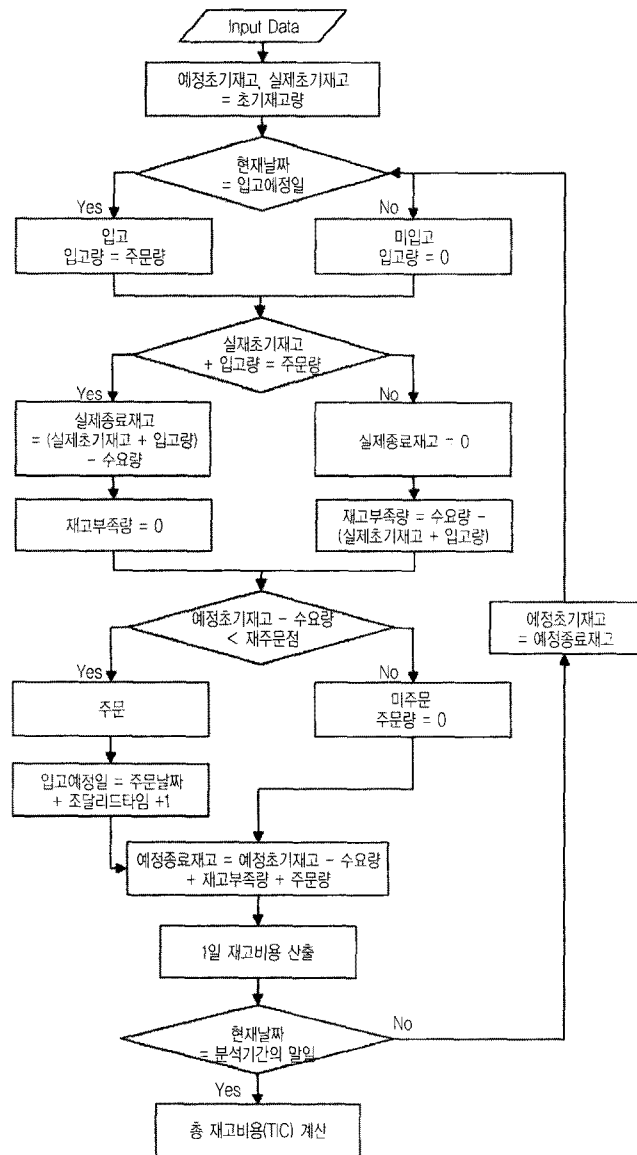


그림 4. 모델 순서도(원자재 재고부문)

반복되면 분석기간 동안의 총 재고비용이 1회 계산되게 된다. 여기서 수요량과 조달리드타임이 확률적인 값을 가지고 있기 때문에 시뮬레이션과정에서 확률분포의 특성에 의하여 값이 변하고, 이에 따라 총 재고비용은 지정한 시뮬레이션 횟수만큼 확률분포의 형태를 띄게 된다. 그리고 이러한 확률분포 형태를 바탕으로 재고비용을 최소화시키는 적정 주문량과 재주문점의 조합을 구하게 된다.

4.1.3 모델 알고리즘

시뮬레이션 모델의 목적은 크게 두가지로 나뉜다. 첫 번째는 적정수준의 원자재 재고관리를 위한 적정 주문량과 재주문점을 구하는 것이고, 다른 하나는 구해진 적정 주문량과 재주문점에서 재고비용을 확률적인 분포의 값으로 예측하여 보는 것이다.

본 연구에서는 Crystal Ball의 OptQuest Tool을 이용하여 스프레드시트에서의 목적함수를 최적화시키는 변수를 결정하였다. 본 시뮬레이션 모델에서의 목적함수는 분석기간 동안의 총 재고비용(TIC)을 최소화하는 것이며 이것은 주문량과 재주문점의 함수로 식(1)과 같이 나타내어진다.

$$\text{Minimize TIC(Total Inventory Cost)} = f(\text{OQ}, \text{ROP}) \quad (1)$$

OQ: Order Quantity / ROP: Reorder Point

변수인 주문량과 재주문점은 각각 제약조건을 갖는데, 먼저 자재의 주문량은 운반수단의 최소단위보다 커야 한다. 예를 들어 26ton 트레일러를 이용하여 철근을 운반한다고 하면 철근의 최소 주문단위는 26ton보다 커야한다. 반면 주문량의 최대값은 자재 야적장의 수용범위보다는 작아야 한다.

재주문점의 최소값은 장기간 자재의 수요량이 없는 경우 상황에 따라 0이 될 수도 있으나 자재를 조달하는데 걸리는 최소기간인 1일간의 여유재고(가공장의 1일 평균 작업량)를 항상 보유하는 것으로 가정한다. 최대값은 주문량과 마찬가지로 자재 야적장의 수용범위보다 작아야 한다. 따라서 주문량과 재주문점에 대한 제약조건은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{이동수단의 최소단위} < \text{OQ} < \text{야적장의 수용범위} \\ & \text{1일간 여유재고} < \text{ROP} < \text{야적장의 수용범위} \end{aligned}$$

이러한 주문량과 재주문점은 그림4에서와 같이 자재의 재고수준에 다음과 같이 작용한다.

(1) 예정초기재고 - 수요량 > 재주문점(주문이 없는 경우)
 예정종료재고 = 예정초기재고 - 수요량 - 재고부족량

(2) 예정초기재고 - 수요량 ≤ 재주문점(주문이 있는 경우)
 예정종료재고 = 예정초기재고 - 수요량 - 재고부족량 + 주문량

여기서 예정재고는 연속적인 주문이 발생하여 한꺼번에 재고량이 늘어나는 것을 방지하기 위하여 설정하였다. 예정재고를 설정하면 이미 주문하여 입고가 예정되어 있는 재고량을 고려하여 다음 주문이 이루어지지만, 예정재고를 설정하지 않고 실제 재고량을 기준으로 주문을 하는 경우에는 조달 리드타임동안 연속적으로 주문이 이루어지고 이에 따라 재고보유수준이 한꺼번에 증가하게 된다.

그리고 여기서 총재고비용(TIC)은 재고관련비용들의 합으로 아래 식(2)에 의해 구할 수 있다. 이때 재고관련비용은 자재주문 및 재고유지비용과 재고부족비로 나누어지며 자재주문 및 재고유지비용은 운송비, 자재하차비, 재고유지비로 이루어진다. 재고부족비는 재고부족으로 인하여 자재를 긴급조달하거나 돌관 작업을 실시할 때, 또는 자재부족으로 공기가 연장되어 추가적으로 발생하는 비용들을 의미한다. 총 재고비용을 구성하는 각 요소들은 가공장 또는 현장공구의 상황 등을 고려하여 개별적으로 산정되어야 하는데, 이에 대한 상세한 적용기준은 다음 장의 사례분석에서 제시하도록 하겠다.

$$TIC(\text{원자재}) = \text{재고유지비} + \text{운송비} + \text{자재하차비} + \text{재고부족비} \quad (2)$$

이렇게 자재의 적정 재주문점과 주문량이 구해지게 되면 이것을 고정변수로 하여 몬테카를로 시뮬레이션을 실시하고 총 재고비용을 확실적인 분포형태로 예측할 수 있게 된다.

4.2 가공품 재고관리 알고리즘

4.2.1 시간버퍼(Time Buffer) 개념의 적용

가공품 또는 조립품 재고는 일반적으로 생산과 수요 사이의 버퍼 역할을 하며 이러한 버퍼는 즉각적인 납품을 위해 현장수요에서의 변동성을 흡수하고 생산능력 부하를 평준화하는 기능을 수행한다. 하지만 본 연구에서 대상으로 하는 프로세스에서의 가공품은 주문이 들어온 후에 주문에서 요구하는 대로 생산하여 제공하는 주문생산방식이기 때문에 이론적으로는 재고가 발생하지 않는다. 하지만 가공장으로 주문이 들어온 후 어느 정

도의 여유기간을 두고 작업을 시작하느냐에 따라 가공장 내 보유기간이 달라지고 재고수준이 결정된다. 따라서 여기에서는 원자재 재고와는 달리 시간버퍼 개념이 적용된다. 이렇게 시간버퍼에 의해 발생하는 가공품 재고도 원자재 재고와 마찬가지로 작업장 내 공간을 차지하고 관리비용을 증가시키기 때문에 적정 작업시점 또는 현장출고 전 여유기간을 결정하여 가공장 내 보유기간을 최소화시켜야 한다. 그림5는 적정 여유기간에 대한 개념을 나타낸 것이다.

4.2.2 시뮬레이션 모델

표 4. 원자재 재고관리를 위한 스프레드시트 모델의 속성

속성	확률적 변수가정 (assumption)	결정 (decision)	예측 (forecast)
셀 값	일 작업량, 수요량	여유기간(time lag)	총 재고비용

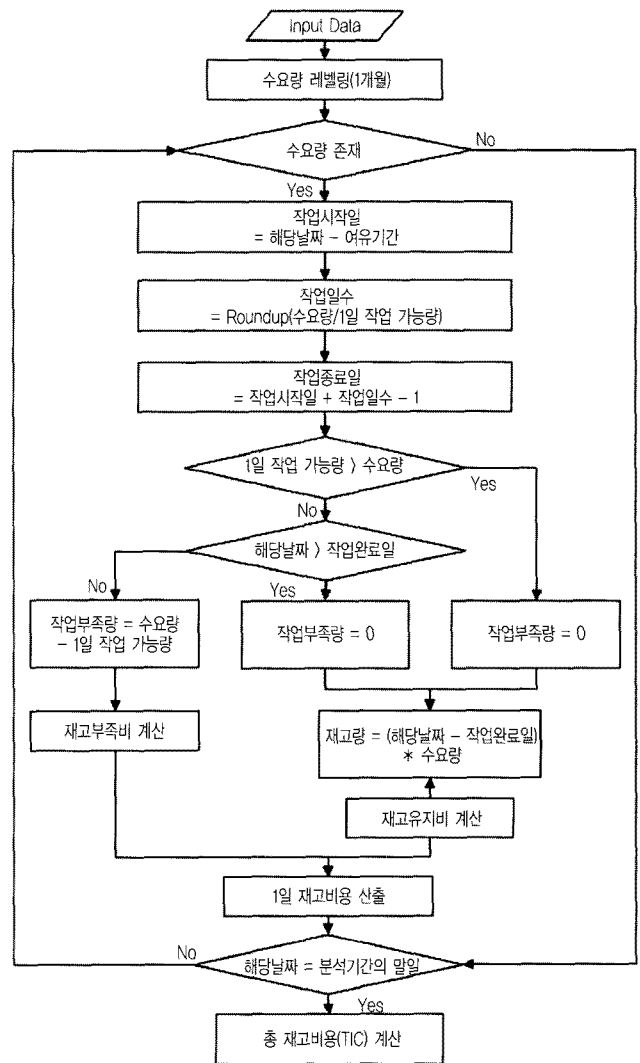


그림 5. 모델의 순서도가공품 재고부문

가공품 재고관리를 위한 시물레이션 모델도 원자재 재고와 Crystall Ball을 이용하여 동일한 방식으로 구성하였으며 모델의 속성은 표4와 같고 엑셀 스프레드 시트의 순서도는 그림5와 같다.

본 모델에서는 현장 스케줄에 따라 가공품 수요가 있는 날을 찾고, 출고일 이전에 미리 작업하여 현장에 보유한 가공품의 양과 보유기간을 곱하여 재고량을 산출하였다. 가공품 재고 시물레이션에서는 재고관련비용을 확정값으로 입력하고, 가공장의 1일 작업 가능량과 현장 수요량에 확률분포를 부여하고, 여유기간의 범위를 지정해주어야 한다. 원자재 재고와 같이 시물레이션에 의하여 총 재고비용이 확률분포의 형태로 도출되며, 이러한 재고비용을 최소화시키는 적정 여유기간을 구하는 과정을 거치게 된다.

4.2.3 모델 알고리즘

본 시물레이션 모델의 목적은 원자재 재고에서와 마찬가지로 두 가지로 나뉜다. 첫 번째는 적정수준의 가공품 작업 여유기간을 결정하는 것이고, 다른 하나는 결정된 적정 여유기간에서의 총 재고비용을 확률적인 분포의 값으로 예측하는 것이다.

가공품 재고 시물레이션 모델의 목적함수도 분석기간 동안의 총 재고비용을 최소화하는 것으로 설정하였으며 이것은 여유기간의 함수로 나타내어진다.

$$\text{Minimize TIC(Total Inventory Cost)} = f(\text{TL}) \quad (3)$$

TL: Time Lag

변수인 여유기간은 다음과 같은 제약조건을 갖는다. 여유기간의 최소값은 현장에서 출고되기 전날 작업하는 것을 가정하여 1일로 하고, 최대값은 현장에서 가공장으로 주문을 하는 시기에 따라 결정된다. 작업의 종류에 따라서 작업이 복잡하고 어려운 경우에는 현장에서 필요한 날짜 이전에 충분한 여유를 두고 미리 주문을 하고, 가공작업이 간단하고 용이한 경우에는 필요한 날짜에 맞추어 주문을 한다. 따라서 식 (3)에서 여유기간에 대한 제약조건은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$1\text{일} < \text{TL} < \text{현장주문 여유기간}$$

이러한 여유기간은 그림5에서와 같이 자재의 재고수준에 다음과 같이 작용한다.

$$\text{작업종료일} = \text{출고일} - \text{여유기간}$$

$$\begin{aligned} \text{작업종료일} &= \text{작업시작일} + \text{작업일수} - 1 \\ \text{가공품 재고 보유기간} &= \text{출고일} - \text{작업종료일} \end{aligned}$$

가공품 재고에서의 총 재고비용은 재고관련비용들 중 재고유지비와 재고부족비만의 합으로 구해진다.

$$\text{TIC(원자재)} = \text{재고유지비} + \text{재고부족비} \quad (4)$$

마찬가지로 이렇게 가공작업의 적정 여유기간이 구해지게 되면 이것을 고정변수로 하여 몬테카를로 시물레이션을 실시하고 총 재고비용을 확률적인 분포의 값으로 예측할 수 있다.

5. 사례적용 : 철근가공 · 조립 작업

5.1 대상 프로세스 개요

본 연구에서 분석하고자 사례는 수도권지역 경전철 건설 사업의 현장 철근가공에서의 재고관리 시스템이다. 본 공사는 시내 중심부 및 상업지구를 통과하는 도심지 공사로서 민원발생 등으로 인한 공정계획 변동의 위험성이 높고 자재야적 및 관리를 위한 간접비 비율이 높다. 따라서 자재재고에 대한 효율적인 관리에 대한 필요성이 매우 높은 현장이라 할 수 있다.

본 연구에서는 가공장에서의 철근자재 주문 및 입·출고 관리 시스템을 살펴보고 가공장에 철근 원자재가 입고되기 시작한 지난 2006년 3월부터 8월까지의 6개월간 가공장 내 철근 원자재와 가공품의 입·출고 자료를 바탕으로 앞서 제시한 적정 재고관리 전략을 적용하여 그 효과를 비교 분석하였다. 철근 가공장의 규모 및 일반사항은 표5와 같다.

표 5. 철근 가공장 일반사항

구분	내용
규모	공장면적 300평, 야적장 면적 450평
작업인원	절단반, 절곡반, 임시직 10여명(상황에 따라 약간씩 달라짐)
연간 생산량	약 20,000ton (월 평균 약1,600ton, 1일 평균 약 60ton)
주요작업	교량 상·하부의 기초, 기둥, 코핑, 슬래브, U-girder에 들어가는 철근의 가공

구분내용규모공장면적 300평, 야적장 면적 450평작업인원절단반, 절곡반, 임시직 10여명(상황에 따라 약간씩 달라짐)연간 생산량 약 20,000ton (월 평균 약1,600ton, 1일 평균 약 60ton) 주요작업교량 상·하부의 기초, 기둥, 코핑, 슬래브, U-girder에 들어가는 철근의 가공 표 5. 철근 가공장 일반사항

5.2 재고비용 산정

자재관리에 소요되는 비용은 현장과 공중에 따라 각각 다르다. 따라서 이를 정확히 일반화하여 정량화하기가 어려우므로 현장조건을 신중히 고려하는 것이 필요하다. 본 연구에서의 재주문 및 재고관련 비용들은 현장관리자와의 인터뷰 및 실제 실적자료를 바탕으로 산정하였으며 세부사항은 표6과 같다.

5.3 시스템 운영분석

사례현장의 자재관리 시스템을 분석한 결과, 가공장 내에서 일단위의 정확한 재고량이 파악되지 못하고 있었으며 보통 1개월 정도의 필요량 이상의 철근 원자재 재고를 보유하고 있었다. 또 앞서 말했듯이 철근 가공품은 이론적으로 재고 보유기간이 필요 없음에도 불구하고 가공장의 생산일정과 현장공구의 작업일정이 불일치하여 가공장 내에서 상황에 따라 4~7일 정도 불필요한 가공품 재고가 발생되고 있었다. 그 결과 현상태(As-Is)의 월간 철근자재 평균재고량은 입·출고량 사이의 불균형으로 인해 최소 302톤에서 최대 2,589톤 규모(월간 평균 1,400톤)에 달하는 매우 높은 재고수준은 보여주고 있었다.

표 6. 재고관련비용 가정

재고비용 항목	단가	비고
재고유지비	400원/ton/월(원자재)	• 철근단가×연간 재고유지비용 비율(0.3)/365
	200원/ton/월(가공품)	• 철근단가×연간 재고유지비용 비율(0.15)/365
운송비	10,000원/ton	26ton 트레일러 사용
자재 하차비	15,000원/트레일러대	• 지게차 사용(대여료 30,000원/시간 1시간에 2대분 처리)
재고 부족비	222,000원/ton(원자재)	• 원자재조달 추가비용, 돌관작업비, 간접비
	217,000원/ton(가공품)	• 돌관작업비, 간접비 • * 시중노임단기, 건설공사 실적공 사비 참고

5.4 원자재 재고관리 방안

앞서 제시된 적정 원자재 재고관리 방안에 대한 효과 검증을 위하여 3월부터 8월까지의 현장의 철근가공품 수요량을 가공품 출고량을 기준으로 확률분포로 설정하여 월별로 시뮬레이션을 실시하여 기존 시스템과 비교분석하였다. 수요량의 확률분포는 실제현장의 상황과 기간별 특성을 현실적으로 반영하기 위하여 데이터 피팅(data fitting) 프로그램을 이용하여 실제 일일 수요량 데이터를 입력하고 카이스퀘어(chi-square) 검증에 의하여 월별로 가장 상관성이 높은 분포를 도출하였다. 예를 들어 4월에는 평균 19톤, 표준편차 13톤의 삼각형 분포(Triangular distribution)가 가장 적절하고, 6월에는 평균 25톤, 표준편차 25톤의 지수분포(Exponential distribution)가 가장 적절한 분포로 도출되었다. 조달 리드타임은 양의 정수의 값을 가져야 하

고 무작위적 시간간격 특성을 가지므로 포아송 분포(Poisson distribution)를 가정하였고 최소값을 1로 하였다.

다음은 목적함수의 변수인 주문량과 재주문점에 대하여 각 변수의 제약범위 내에서 5톤 단위마다 가능한 300개 조합을 생성한 다음, 각각의 조합에 대해 95%의 신뢰수준으로 5,000번의 시뮬레이션을 실시하여 총 재고비용의 분포를 추정하였다. 매월 시뮬레이션 시 월별 초기재고량은 전월의 종료재고량으로 설정하여 월별 연결성을 유지하였다. 예를 들어 3월의 경우 주문량과 재주문점의 300개 조합중에서 Crystal Ball의 OptQuest Tool를 이용하여 최적화를 실시한 결과, 총 재고비용의 평균값이 가장 작을 때는 주문량 70톤, 재주문점 145톤일 때 이고, 이 때 시뮬레이션을 통하여 도출된 총 재고비용의 확률분포는 그림 6과 같이 도출되었다.

표7은 이러한 시뮬레이션 및 최적화 과정을 거쳐 도출된 월별 적정 주문량과 재주문점 결과값을 정리한 것이다. 작업이 가장 활발하였던 5, 6월에는 주문량과 재주문점이 전반적으로 높은 수준인 것을 알 수 있다. 또 공사초기인 3, 4월에는 수요량이 적어 주문량과 재주문점이 적게 나왔으며, 우기인 7, 8월에는 수요량이 적어 주문량은 낮았지만 6월의 높은 재고수준에 영향을 받아 재주문점은 높게 도출되어 불필요한 추가 주문을 억제할 수 있도록 하고 있다.

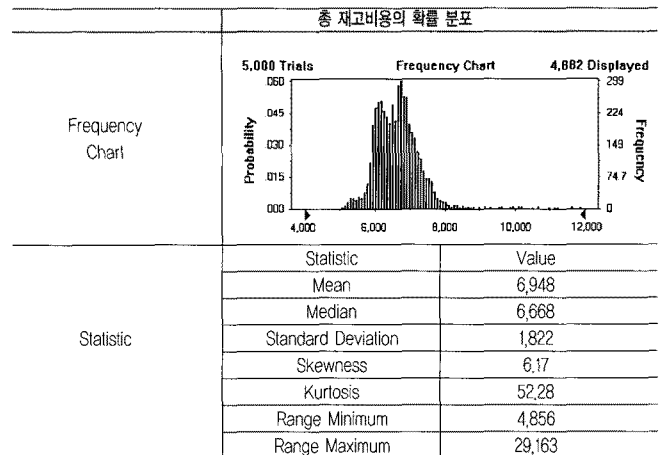


그림 6. 총 원자재 재고비용의 시뮬레이션 결과(3월)

표 7. 월별 철근원자재 적정 주문량과 재주문점

월	3월	4월	5월	6월	7월	8월
주문량(OQ)	70	65	95	105	50	55
재주문점(ROP)	145	230	395	370	320	350

5.5 가공품 재고관리 방안

가공품 재고에서는 원자재 재고와 같은 방식으로 시뮬레이션

을 실시하여 적정 작업 여유기간을 도출하고 재고비용을 예측하였다. 가공장의 일 작업량은 과거 실적치를 토대로 평균 60톤, 표준편차 6톤의 정규분포로 설정하였고, 현장 수요량은 원자재 재고에서와 마찬가지로 월별로 도출된 확률분포를 적용하였다. 여유기간의 범위는 1일에서 7일로 하였고 그 범위 안에서 1일 간격으로 여유기간을 변화시켜 총 재고비용을 최소화하는 최적값을 도출하였다. 표8은 도출된 월별 적정 여유기간을 정리한 것이다. 적정 여유기간은 작업량이 가장 많았던 5, 6, 7월에 걸쳐 가장 높게 나타나 적정 여유기간이 해당 기간 동안의 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 평가되었다.

표 8. 월별 적정 여유기간

(단위: 일)						
월	3월	4월	5월	6월	7월	8월
여유기간	2	4	5	5	5	4

5.6 성과 비교분석

자재관리 모델의 효용성을 검증하기 위하여 기존 방식과 본 연구에서 제시된 방식을 적용하였을 때를 비교하여 분석을 실시하였다. 표9는 적정 재고방식을 적용하기 전·후의 월별 재고량의 흐름과 월별 자재의 입·출고량과 평균재고량을 비교하여 정리한 것이다. 여기서 To-be상태는 제시된 방식에 의하여 도출된 최적 주문량, 재주문점, 여유기간을 적용했을 때의 원자재 재고량과 가공품 재고량을 합한 값이다.

표9에서 볼 수 있듯이 기존방식과 비교했을 때, 전체적인 재고의 흐름은 변동 폭이 작고, 500톤 내외의 수준에서 안정적으로 유지되고 있음을 확인할 수 있다. 또한 적정재고 방식은 월별 입고량이 각 월의 출고량(수요량)에 따라 적정수준으로 입고되고, 평균 재고량이 크게 감소되었을 뿐만 아니라 재고량의 표준편차도 작아져 현장의 재고량이 안정적으로 유지되고 있음을 알 수 있다. 이에 따라 가공장에서의 총 재고유지비용이 6개월간 총 99,867천원에서 24,678천원으로 기존방식에 비해 75% 정도 감소되었다.

표 9. 적정재고방식 적용 전·후의 월간 입출고량과 평균 재고량

월	평균입고량		평균출고량		평균재고량		표준편차(월별)	
	As-is	To-be	As-is	To-be	As-is	To-be	As-is	To-be
3월	571.7	350	178.2	178.2	329	134.8	89.3	77.1
4월	76.1	455	353.1	353.1	302.1	257.1	94	68.7
5월	2,278.60	1,140.00	962.2	962.2	922.8	437.1	500	140
6월	1,131.00	630	659	659	1,619.00	464.3	177.7	86.6
7월	1,499.80	400	519	519	2,225.80	367.8	474.2	96.8
8월	53.1	715	707	707	2,589.60	382.5	199.5	53.9
합계	5,610.30	3,690	3,378.30	3,378.30	1,410.60	348.5	937.6	140.8

6. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 시스템 분석 및 재고관리 시스템의 이론적 배경을 바탕으로 철근작업과 같이 원자재 가공과정을 갖는 프로세스상의 적정 자재재고 관리 모델 및 알고리즘을 제시하고 이를 실제사례에 적용하여 그 성과를 검증해보았다. 본 연구의 대상 시스템의 재고량을 줄이고 경제적인 이익을 얻기 위해서는 가공장 내의 원자재 재고와 현장출고 전에 대기 중인 가공품 재고를 적정 수준으로 관리해 주어야 한다. 이를 위해 본 연구는 원자재 재고에서 적정 수준의 주문량과 재주문점을 결정하고, 가공품 재고에서는 적정 여유기간(time lag)을 도출하는 방법론을 제시하였다.

기존 방식에서는 재고흐름이 불규칙할 뿐만 아니라 필요이상의 많은 양의 원자재 재고를 보유하게 되고 가공품 재고의 여유기간(time lag buffer)도 길어져 재고관리가 비효율적이었지만 제시된 알고리즘을 실제사례에 적용한 결과, 원자재 재고의 입·출고량이 균형을 이루고 평균 재고량이 줄어들었을 뿐만 아니라 재고의 변동성도 감소하는 것으로 나타났다. 또한 철근가공품의 적절한 작업착수시기를 제시함으로써 가공장 내 보유기간을 최적화할 수 있었다. 결론적으로 본 연구는 실제현장의 데이터를 활용하여 실증적으로 적용한 결과로서, 기존의 경험과 직관에 의존하던 재고관리 방식을 적정재고 개념을 적용하여 재고량을 최소화 할 수 있는 기준과 방법을 제시해 줌으로써 현장의 생산성과 경제성을 향상 시키는데 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

그러나 본 연구에서는 재고비용들과 관련하여 많은 가정사항이 포함되어 있기 때문에 보다 현실적인 결과를 도출하기 위해서는 이런 재고관련비용들에 대한 구체적인 정량화 작업이 필요하다. 또한 재고수준에 영향을 미치는 확률적 요소들의 변동성을 줄이기 위한 연구가 이루어져야 할 것이다. 마지막으로 비교적 단순한 철근가공 작업 이외에 U-girder, PC-girder 제작 등 다양한 자재가 투입되는 복합적인 공정에도 본 연구에서 제시한 알고리즘을 보다 범용적으로 적용할 수 있도록 후속연구도 함께 이루어 져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설기술혁신사업(과제번호 : 05기반구축 D05-01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 구본상, 박희성, 장철기, 김대영(2006), “린 건설과 해외 대 규모 건설 공사 적용 사례: 히드로 공항”, 대한건축학회 논문집, 제22권, 7호, pp. 141-148
2. 김상훈, 김광희, 강경인(2004), “건설공사의 적정 Lot Size 결정에 의한 효율적인 재고관리 방안에 관한 연구”, 한국건축사공학회 논문집, 제4권, 2호, pp. 73-80
3. 이상범(2004), “건설자재의 적정 리드타임 산정에 관한 연구”, 한국건축사공학회논문집, 제4권, 1호
4. 한승현, 류호동, 채명진, 임건순(2006), “6시그마 개념을 도입한 건설공사 생산성 향상에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집, 제26권, 4호, pp. 105-110
5. 신용백(2004), 생산운영관리, 범한
6. Arbulu, R.J., Ballard G.H. and Harper, N. (2003), “Kanban in Construction.” Proceedings of the 11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Blacksburg, Virginia,
7. Arbulu, R.J. and Tommelein, I.D. (2002), “Alternative Supply-Chain Configurations for Engineered or Catalogued Made-To-Order Components: Case Study on Pipe Supports used in Power Plants.” Proceedings of the 11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Gramado, Brazil
8. Hopp, W.J and Spearman, M.L. (2000), Factory Physics: Foundation of manufacturing management, 2nd edition, Irwin, Boston
- 9 Moore, J.H. and Weatherfore, L.R. (2001) Decision modeling with microsoft excel. 6th Edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
10. Thomas, H.R., Horman, M.J., Ubiraci Espinelli Lemes de Souza, and Ivica Zavrski (2002), “Reducing Variability to Improve Performance as a Lean Construction Principle, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 128, No. 2
11. Tommelein, I.D., and Weissenberger, M. (1999), “More just-in-time: Location of buffers in structural steel supply and construction processes”, 7th Annual Conf. of the Int. Group for Lean Construction

논문제출일: 2007.11.23
 심사완료일: 2008.01.18

Abstract

There are usually plenty of material inventories in a construction site. More inventories can meet unexpected demands, and also they may have an economical advantage by avoiding a probable escalation of raw material costs. On the other hand, these inventories also cause negative aspects to increase costs for storing redundant inventory as well as decreasing construction productivity. Therefore, a proper method of deciding an optimal level of material inventories while considering dynamic variations of resources under uncertainty is very crucial for the economical efficiency of construction projects. This research presents a stochastic modelling method for construction operations, particularly targeting a work process involving on-site fabrication of raw materials like iron-rebar process (delivery, cut and assembly, and placement). To develop the model, we apply the concept of factory physics to depict the overall components of a system. Then, an optimal inventory management model is devised to support purchase decisions where users can make timely actions on how much to order and when to buy raw materials. Also, optimal time lag, which minimizes the storage time for pre-assembled materials, is obtained. To verify this method, a real case is applied to elicit an optimal amount of inventory and time lag. It is found that average values as well as variability of inventory level decreased significantly so as to minimize economic costs related to inventory management under uncertain project condition.

Keywords : optimal inventory management, inventory cost, reorder point, optimal time lag