

건설공사 자재 관리를 위한 데이터 웨어하우스 개발

Development of Data Warehouse for Construction Material Management

류 한 국*

Ryu, Han-Guk*

Department of Architectural Engineering, Changwon National University, Changwon, GyeongNam-Do, 641-773, Korea*

Abstract

During a construction project, construction managers must be provided with material information to help them to make decisions more efficiently without delaying the delivery of material. Construction work can be smoothly performed with the proper material supply. Construction duration depends on several material-related decisions, including the order, delivery, and allocation of material to the correct work location. Hence, it is worthwhile to introduce data warehouse techniques that generate subject-oriented and integrated data to construction material management. The data warehouse for construction material management can perform multidimensional analysis and then define KPIs (Key Performance Index) in order to provide construction managers with construction material information such as lead time, material delivery rate, material installation rate and so on. This research proposes a method of effectively facilitating large amounts of data in the operating systems during the construction management process. In other words, the proposed method can supply structured and multi-perspective material-related information using data warehouse techniques.

Keywords : material management, data warehouse, multidimensional analysis, key performance index(KPI)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설공사는 수많은 자원 중 상당부분이 자재공급업체에서 제공하는 자재의 원활한 공급에 따라 작업의 원활성이 결정된다. 자재를 적기에 조달하고 할당하고 배분하는 결과에 따라 작업이 순조롭게 진행되고 궁극적으로 소기의 공사기간 내에 공사를 완료할 수 있다. 자재의 특성에 따라 리드타임이 다르며, 자재를 제공하는 업체와 거리에 따라 주문 기간과 현장 조달 시간이 다르다. 작업을 수행하는 협력업체에 따라 자재를 조달하고 현장에 설치하는 기간이 다를 수

있다. 이와 같이 다양한 자재, 협력업체, 작업조, 작업장소 등에 따라 자재의 리드타임, 조달기간, 조달량 등이 다양할 수 있다. 따라서 공사관리자는 체계적인 자재 관련 실적 데이터를 바탕으로 의사 결정을 위한 유효한 정보를 필요로 한다.

건설 공사 자재관리를 위하여 건설공사의 다양한 자재관리에 적용되는 차원 데이터들을 규명하고 이들 간에 발생하는 자재관리의 정보를 제공하기 위한 다차원 분석을 제공하는 것이 필요하다. 또한 자재관리의 주요 성과지표 관리를 위하여 KPI¹⁾를 설정하여 의사결정 정보로 활용할 수 있도록 하는 것이 중요하다. 이에 본 연구는 건설공사의 운영 시스템에서 발생하는 수많은 데이터들을 효과적으로 활용하여 주제 중심적이고 통합적인 데이터를 제공할 수 있는 데이터

Received : August 31, 2010

Revision received : September 19, 2010

Accepted : September 26, 2010

* Corresponding author: Ryu, Han-Guk

[Tel: 82-55-213-3804, E-mail: hgryu@changwon.ac.kr]

©2011 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

1) 핵심성과지표로 특정 조직의 장기적인 목표를 설정하고 이를 달성하기 위한 평가지표를 의미한다. 특정 사업의 현황을 측정하여 목표 달성을 위한 일련의 과정을 관리하기 위한 용도로 사용된다.

웨어하우스 기술을 활용하여 체계적인 자재관리 정보를 제공할 수 있도록 하는 것이 목적이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 절차와 방법은 Figure 1과 같다. 데이터 웨어하우스 기술의 정의와 특징을 살펴보고 자재관리에 활용가능성을 파악한다. 자재관리를 위해 필요한 정보를 도출하고 이에 필요한 데이터 차원과 KPI를 정의하여 다차원 분석을 실시한다. 자재관리에 필요한 KPI의 추세를 파악하고 본 연구를 통하여 향후 수행해야 하는 연구내용에 대하여 간략히 서술한다.

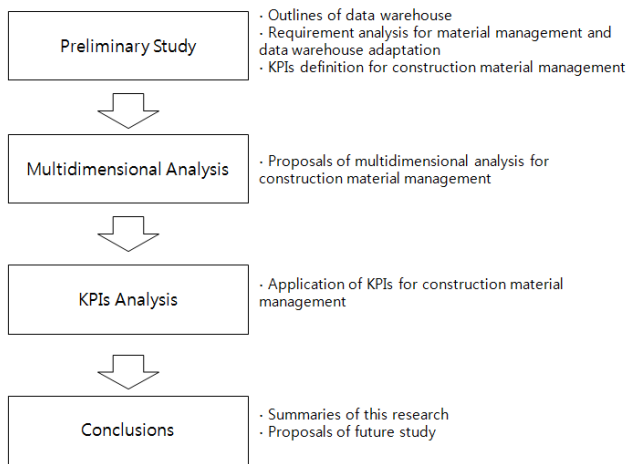


Figure 1. Research process and method

2. 예비적 고찰

2.1 데이터 웨어하우스의 특성과 기존 연구

데이터 웨어하우스는 1980년대 중반 IBM이 처음으로 도입했던 개념으로, IBM은 Information Warehouse라는 용어를 사용하였다. 이후 이 개념은 많은 하드웨어, 소프트웨어 및 툴 공급업체 들에 의해 이론적, 현실적으로 발전하였으며, 1980대 후반 Inmon[1]이 데이터 접근 전략으로 데이터 웨어하우스 개념을 사용함으로써 많은 관심과 집중을 받게 되었다.

Inmon은 데이터 웨어하우스를 “기업의 의사결정 과정을 지원하기 위한 주제 중심적이고 통합적이며 시간성을 가지는 비휘발성 자료의 집합”으로 정의하였다. 데이터 웨어하우스는 의사결정에 필요한 정보처리 기능을 효율적으로 지원하기 위한 통합된 데이터를 가진 양질의 데이터 베이스

로서 아래 7 가지 특성으로 정의 할 수 있다.[2]

1) 의사 결정 지원

데이터 웨어하우스가 존재하는 가장 일차적인 이유는 사용자의 의사결정을 지원하기 위한 것이다. 데이터 웨어하우스는 적절한 사용자가 올바른 정보를 올바른 형태로 적시에 제공하기 위해, 대량의 원시 데이터를 유용한 정보로 변환하는 엔진이다.

2) 운영시스템과 분리

기업의 운영시스템과 분리되며, 운영시스템으로부터 많은 데이터가 공급된다. 데이터 웨어하우스의 기본적인 자료 구조는 운영시스템들과 완전히 다르므로 데이터들이 데이터 웨어하우스로 이동되면서 재구조화 되어야 한다.

3) 전사적 통합

전사적 통합은 내부 데이터 통합과 외부 데이터 통합으로 이루어진다. 내부 데이터 통합 측면에서 기존 운영시스템의 대부분은 항상 많은 부분이 중복됨으로써 하나의 객체를 지칭하는 다양한 이름이 존재하거나 데이터가 가지는 의미가 서로 다르다. 따라서 데이터웨어하우스에서 이러한 데이터는 전사적인 관점에서 통합된다.

외부 데이터 통합 측면에서 데이터웨어하우스 내의 데이터는 주로 운영시스템으로부터 공급되지만 다양한 외부정보의 통합 역시 통합될 수 있다.

4) 시간성

시간성 혹은 역사성을 가진다. 즉 일, 월, 년, 회계기간 등과 같은 정의된 기간과 관련되어 저장된다. 운영시스템의 데이터는 사용자가 사용하는 매순간 정확한 값을 가진다. 반면에 데이터웨어하우스의 데이터는 특정 시점을 기준으로 정확하다. 데이터웨어하우스 내의 데이터는 시간과 더불어 변화해 가는 데이터상태를 어느 순간에 잡는 스냅샷 데이터로서 묵시적으로나 명시적으로나 시간 항목을 가지며, 장시간에 걸쳐 존재한다.

5) 주제 중심적

데이터 웨어하우스는 전통적인 데이터베이스와 근본적으로 구분된다. 전통적으로 데이터베이스는 대부분 어플리케이션의 일부분이었다. 이러한 환경에서 각 테이블과 필드는 어플리케이션에서 미리 정의된 화면상의 필드들과 논리적으로 밀접한 관계를 가진다. 그래서 데이터베이스의 설계는 프로그래머와 데이터베이스 관리자 사이의 많은 조정을 필요로 하는 매우 힘든 작업이었다. 운영시스템은 재고관리, 영업관리 등과 같은 기업운영에 필요한 특화 된 기능을 지

원하는 데 반해, 데이터 웨어하우스는 고객, 제품 등과 같은 주요한 주제를 중심으로 그 주제와 관련된 데이터들로 조직된다.

6) 쉬운 접근

컴퓨터 시스템 혹은 자료 구조에 대한 지식이 없는 사용자들이 쉽게 접근할 수 있어야 한다. 접근은 많은 것을 의미한다. 조직의 관리자들과 분석가들은 그들의 PC로부터 데이터 웨어하우스에 연결할 수 있어야 한다. 이런 연결은 요구에 즉각적이어야 하고, 또한 신속성을 보여야 한다. 만약 접근을 다른 사람을 통해서 한다면, 느리거나 사용하기 어렵고 신뢰할 수 없다면 받아들여질 수 없다.

7) 비휘발성

데이터 웨어하우스는 읽기 전용 데이터베이스로서 갱신이 이루어지지 않는다. 운영시스템 환경에서는 추가 삭제 변경과 같은 갱신작업이 레코드 단위로 지속적으로 발생한다. 반면 웨어하우스 환경에서는 프로덕션 데이터로드(Production Data Load)와 활용만이 존재하며, 운영시스템에서와 같은 의미의 데이터의 갱신은 발생하지 않는다. 즉, 거대한 운영시스템은 하루에 수천 또는 수만의 거래를 처리하는데, 각각이 하나의 작은 데이터로 구성된다. 반면 데이터 웨어하우스의 경우는 보통 하루에 하나의 거래만을 수행할 수도 있지만 이 거래 처리에는 수천 또는 수만의 레코드가 있을 것이다. 이를 거래처리라는 용어 대신, 프로덕션 데이터로드라고 부른다.

이와 같은 데이터 웨어하우스 기술의 특징을 활용하여 건설 분야에 다양한 연구들이 2000년대에 들어서 많이 수행되고 있다. Chau[3]는 건설관리 프로세스동안에 OLTP(On-Line Transaction Processing) 시스템을 사용하여 건설 데이터 웨어하우스와 의사결정시스템을 통합하여 건설 현장에서 발생하는 데이터들을 정보화하여 데이터웨어하우스와 의사결정시스템의 적용 가능성을 제시하였다.

Ahmad[4]는 건설사가 다수의 자료를 활용하여 현장위치를 결정하는 데 필요한 정보를 제공하기 위하여 데이터 웨어하우스 기술을 활용한 의사결정 지원 시스템을 개발하였다. Zhiliang[5]는 건설공사의 프로젝트를 수행하는 데 다수의 주체들이 참여하고 그들 간의 교환 문서가 상당함을 인지하고 전자적으로 문서를 활용하여 의사결정을 지원할 수 있는 데이터 웨어하우스 기반의 EXPLYZER를 개발하였다.

이종국[6]은 건설 관리자의 전자적 의사결정 지원을 위한 활용도구로 건설 데이터 웨어하우스의 시스템 프로토타입 개

발에 대한 기초연구를 수행하였으며 Rujirayanyong[7]는 건설회사의 데이터 수집과 정제와 활용을 위한 프로젝트 기반의 데이터 웨어하우스를 제안하였다. 오세욱[8]은 건설생산성 관리 시스템 구축을 위한 데이터웨어하우스의 적용성을 제안하였으며 박문서[9]는 건설 프로젝트의 성과관리를 위하여 BSC(Balanced Score Card)를 적용할 수 있는 데이터 웨어하우스 기술을 활용하였다. Fan[10]은 장비 관련 데이터 웨어하우스를 이용하여 다양한 관점과 상세수준에 따라 장비 관리 의사결정을 지원하는 시스템 프로토타입을 개발하였다. 따라서 건설 공사에 투입되는 자재를 관리하기 위한 다차원적인 데이터웨어하우스 연구는 부족하였다.

2.2 자재관리 업무와 데이터 웨어하우스 적용을 위한 요구사항

자재관리 업무 프로세스는 자재소요계획, 자재조달, 현장 자재관리, 자재집계 등 4단계로 구분할 수 있다. 자재소요 계획은 공사 초기에 주요자재의 조달전략을 수립하고, 기간 별로 현장 작업에 투입되는 자재수량과 일정을 파악하는 단계이다. 자재 조달은 필요한 자재를 요청하고 구매하는 단계에 해당되며, 고객지급(지급자재), 협력업체조달(지입자재), 회사자체조달(사급자재)과 같은 자재 조달 방식에 따라 개별 업무모듈이 구성된다.

현장자재관리 단계는 요청한 자재가 현장에 반입되어, 작업에 투입되고, 잔여량을 관리하는 단계로서 자재입고관리, 자재출고관리, 자재재고관리 등 3개 업무모듈로 구분된다. 자재집계 단계는 투입된 자재에 대해 자재비를 산출하고, 이를 관리하는 단계에 해당된다.

자재관리를 위한 데이터 웨어하우스의 기능은 자재의 반입에서부터 소요에 이르는 자재관리 데이터를 구성하여 공사 진행의 적절한 지원과 조달계획을 수립하여 공사관리의 효율화를 지향하여야 한다. 이를 위하여 자재 주문, 자재 조달, 자재 설치에 대한 정보를 제공할 수 있어야 한다. 이는 자재의 조달과 입출고 관리, 자재 소요 계획 작성(소요물량 대비 주문량, 조달량, 설치량), 작업관리시스템과의 연계, 자재 청구와 반입관리, 자재 재고 관리 기능이 요구된다.

자재의 투자 집계 관리 기능으로 자재 기성관리, 소운반 및 야적관리의 정보를 제공할 수 있다. 또한 자재 현황과 자재 업체 관리 정보를 제공하고 자재단가 정보를 제공할 수 있다.

2.3 건설공사 자재관리를 위한 KPI의 정의

2.2절에서 언급한 자재관리업무를 위한 요구사항을 KPI로 정의하고 이를 측정하기 위한 산정식이 필요하다. 자재관리를 위한 KPI로 자재 리드타임, 자재조달율, 자재할당율, 자재설치율, 자재계획대비주문율, 자재계획대비조달율, 자재계획대비할당율, 자재계획대비설치율에 대한 KPI를 MDX²⁾로 산정하며 내용은 Table 1과 같다.

Table 1. KPI and MDX Equation

KPI	MDX Equation
MLT (MaterialLeadTime)	$[Measures].[MaterialDeliveredDate]-[Measures].[MaterialOrderedDate]$
MLTA (MaterialLeadTimeAverage)	$[Measures].[Material Lead Time sum]/[Measures].[MTASSIGN Count]$
MDR (MaterialDeliveryRate)	$[Measures].[DeliveredQuantity-Material Delivery]/[Measures].[OrderedQuantity-Material Order]$
MAR (MaterialAssignedRate)	$[Measures].[AssignedQuantity-MaterialAssign]/[Measures].[DeliveredQuantity-Material Delivery]$
MWR (MaterialWorkedRate)	$[Measures].[WorkedQuantity-MaterialAssign]/[Measures].[AssignedQuantity-Material Assign]$
MOVMP (MaterialOrderedvs.MaterialPlanned)	$[Measures].[OrderedQuantity-Material Order]/[Measures].[MaterialQuantity]$
MDVMP (MaterialDeliveredvs.MaterialPlanned)	$[Measures].[DeliveredQuantity-Material Delivery]/[Measures].[MaterialQuantity]$
MAVMP (MaterialAssignedvs.MaterialPlanned)	$[Measures].[AssignedQuantity-Material Assign]/[Measures].[MaterialQuantity]$
MWVMP (MaterialWorkedvs.MaterialPlanned)	$[Measures].[WorkedQuantity-Material Assign]/[Measures].[MaterialQuantity]$

본 연구의 데이터 웨어하우스 기술을 적용하기 위하여 Microsoft SQL Server 2005와 SQL Server Business Intelligence(BI) 2005를 활용하였다. 예를 들어, Figure 2는 자재리드타임의 MDX 계산식을 정의하는 사용자 화면이다.

2) MDX(Multidimensional Expressions)는 SQL이 관계형 데이터베이스의 쿼리 언어인 것과 마찬가지로 OLAP 데이터베이스의 쿼리 언어이다. 팩트 테이블의 열을 기반으로 하는 측정값을 정의하는 데 측정값 식을 사용할 수도 있다.

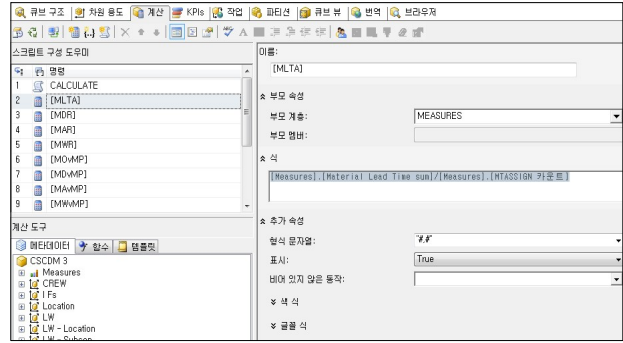


Figure 2. MDX of material lead time

Figure 3는 자재 관리를 위한 차원용도를 정의한 화면으로 다양한 측정값 그룹과 이를 도출하기 위한 차원들의 관계를 나타낸다. 셀이 빈 칸인 것은 해당 값을 산정하지 않고 셀에 있는 내용은 다차원 분석 값을 파악할 수 있는 것을 나타낸다. 차원의 계층수준에 따라 드릴업과 다운 기능이 가능하다.

차원	Material Assign	Material Delivery	Material Order
Time	TimeID	TimeID	TimeID
LW	LW	LW	LW
SUBCON	SUBCON	SUBCON	SUBCON
WORK (Work)			
LOCATION (Location)			
MATERIAL	MATERIAL	MATERIAL	MATERIAL
PROJECT	PROJECT	PROJECT	PROJECT
CREW	CREW	CREW	CREW
I Fs			
SUBCON (LW - Subc...	LW	LW	LW
LOCATION (LW - Loc...	LW	LW	LW
WORK (LW - Work)	LW	LW	LW
MTASSIGN			
WORKER			

Figure 3. Dimension function definition for material management

3. 자재관리 데이터의 다차원 분석

본 장에서는 공사관리자가 의사결정에 활용할 수 있는 다양한 측면(차원)에서의 데이터와 정보를 제공한 다차원 분석 사례를 서술하였다. 본 다차원 분석을 위하여 사용된 차원은 작업, 자재, 시간, 협력업체, 작업조, 작업공간 차원으로 Figure 3.의 차원과 같다. 이를 기반으로 한 다차원 분석으로 자재, 시간 차원의 자재조달율 분석은 Figure 4, 자재,

협력업체, 작업조, 시간차원의 MOvMP, MDvMP, MAvMP, MWvMP 분석은 Figure 5, 자재, 작업공간, 시간 차원의 MOvMP, MDvMP, MAvMP, MWvMP 분석은 Figure 6, 자재, 작업조, 작업공간, 시간 차원의 MOvMP, MDvMP, MAvMP, MWvMP 분석은 Figure 7, 자재, 작업조, 작업공간, 시간 차원의 MOvMP, MDvMP, MAvMP, MWvMP 분석은 Figure 8과 같다.

3.1 자재, 시간 차원의 자재조달을 분석

Figure 4. MDR of material and time dimension

3.2 자재, 협력업체, 시간 차원의 MOvMP, MDvMP, MAvMP, MWvMP 분석

Figure 5. MOvMP, MDvMP, MAvMP, MWvMP of material, subcon and time dimension

3.3 자재, 협력업체, 작업조, 시간차원의 MOvMP, MDvMP, MAvMP, MWvMP 분석

Figure 6. MOvMP, MDvMP, MAvMP, MWvMP of material, subcon, crew, time(month level segmentation) dimension

3.4 자재, 작업공간, 시간 차원의 MOvMP, MDvMP, MAvMP, MWvMP 분석

Figure 7. MOvMP, MDvMP, MAvMP, MWvMP of material, location, time(month level segmentation) dimension

3.5 자재, 작업조, 작업공간, 시간 차원의 MOvMP, MDvMP, MAvMP, MWvMP 분석

Figure 8. MOvMP, MDvMP, MAvMP, MWvMP of material, crew, location, time dimension

4. 자재관리를 위한 KPI 분석

Figure 9는 Table 1에서 정의한 MDR의 KPI를 상태식으로 표현한 화면이다.

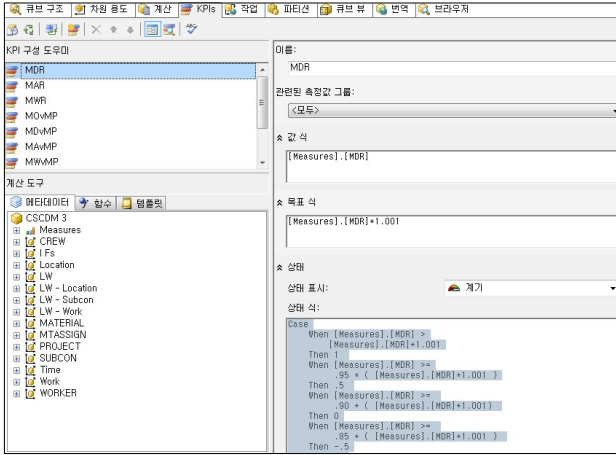


Figure 9. MDR의 KPI definition

MDR과 마찬가지로 MWvMP를 측정하기 위한 상태식은 다음과 같다.

```

Case
  When [Measures].[MWvMP] >
    [Measures].[MWvMP]*1.1 Then 1
  When [Measures].[MWvMP] >=
    .95 * ( [Measures].[MWvMP]*1.1 ) Then .5
  When [Measures].[MWvMP] >=
    .90 * ( [Measures].[MWvMP]*1.1 ) Then 0
  When [Measures].[MWvMP] >=
    .85 * ( [Measures].[MWvMP]*1.1 ) Then -.5
  Else -1
End
    
```

MAR, MWR, MOvMP, MDvMP, MAvMP도 같은 방법

으로 상태식을 정의할 수 있다. Microsoft Server Analysis Service(SSAS) 프로그램에서 KPI를 정의한 후에는 KPI브라우저로 값, 목표, 상태, 추세를 파악할 수 있다.

예를 들어, Figure 10은 정의한 KPI를 브라우저로 확인한 사용자 화면이다. MWvMP의 경우는 실제 측정값이 99.83%이며 목표값은 109.81%이며 상태는 0이지만 지난 기간 보다는 상승하는 추세를 나타내고 있다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 데이터 웨어하우스 기술을 활용하여 건설공사에서 중요한 자재관리에 활용할 수 있는 방법을 제시하였다. 건설공사의 자재관리를 위해 필요한 자재리드타임, 자재조달비율, 자재설치비율 등에 대한 정보를 다차원적으로 분석하였다.

본 연구를 통하여 건설공사 관리자가 건설공사 수행 중에 발생하는 자재 관련 의사결정 정보를 신속하고 다차원적으로 활용하고 주요 자재관리 KPI를 용이하게 관리할 수 있을 것이다. 본 연구의 성과를 요약하면 다음과 같다.

- 건설공사의 자재관리를 위한 주요 정보를 생성할 수 있는 차원을 도출하였다.
- 건설공사의 자재관리 정보 추출을 위한 자재관리 차원 용도를 정의하였다.
- 공사관리자가 건설 자재관리에 필요한 다양한 각도(차원)의 정보를 제공하는 다차원 분석을 실시하였다.
- MDX 계산식을 적용하여 주요 KPI의 속성값을 도출하고 측정하여 자재관리에 활용할 수 있는 지표를 제공하고 현업에서 활용할 수 있는 가능성을 제시하였다.

이와 같이 본 연구는 건설 분야에 데이터 웨어하우스 기술을 적용하기 위한 다양한 분야에 활용될 수 있을 것임

표시 구조	값	목표	상태	추세	가중치
MAR	100.00%	100.10%		↑	
MAvMP	100.00%	100.01%		↑	
MDR	100.00%	100.10%		↑	
MDvMP	100.00%	130.00%		↑	
MOvMP	100.00%	90.00%		↑	
MWR	99.83%	99.84%		↑	
MWvMP	99.83%	109.81%		↑	

Figure 10. Results of KPIs

로 이에 대한 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 사료된다.

요 약

건설공사는 수많은 자원 중 상당부분이 자재공급업체에서 제공하는 자재의 원활한 공급에 따라 작업의 원활성이 결정된다. 자재를 적기에 조달하고 배분하는 결과에 따라 작업이 순조롭게 진행되고 궁극적으로 소기의 공사기간 내에 공사를 완료할 수 있다. 본 연구는 데이터 웨어하우스 기술을 활용하여 건설공사에서 중요한 자재관리에 활용할 수 있는 방법을 제시하였다. 건설공사의 자재관리를 위해 필요한 자재리드타임, 자재조달비용, 자재설치비용 등에 대한 정보를 다차원적으로 분석하고 KPI를 설정하여 의사결정 정보로 활용할 수 있도록 하였다. 궁극적으로 본 연구는 건설공사의 운영계 시스템에서 발생하는 수많은 자재관련 데이터들을 효과적으로 활용하는 방법을 제시하였다. 즉, 주제 중심적이고 통합적인 데이터를 제공할 수 있는 데이터 웨어하우스 기술을 활용하여 체계적인 자재관리 정보를 제공할 수 있도록 하였다.

키워드 : 자재 관리, 데이터 웨어하우스, 다차원 분석, 핵심성과지표

Acknowledgment

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MEST) (No. KRF-2008-331-D00668).

References

1. Inmon B. Building the data warehouse. New York: John Wiley & Sons, Inc; 2002. 412 p.
2. Oracle Korea. [Data warehouse research book]. Seoul (Korea): Oracle Korea; 2003. 114 p. Korean.
3. Chau KW, Cao Y, Anson M, Zhang J. Application of data warehouse and decision support system in construction management. Automation in Construction. 2003 Mar;12(2):213-24.

4. Ahmad I, Azhar S, Lukauskis P. Development of a decision support system using data warehousing to assist builders/developers in site selection. Automation in Construction. 2004 July;13(4):525-42.
5. Zhiliang M, Wong KD, Heng L, Jun Y. Utilizing exchanged documents in construction projects for decision support based on data warehousing technique. Automation in Construction. 2005 Jun;14(3):405-12.
6. Lee JK. [Preliminary system prototype of construction data warehouse]. Korean Journal of Construction Engineering and Management. 2004 Jun;5(3):165-73. Korean.
7. Rujirayanyong T, Shi JJ. A project-oriented data warehouse for construction. Automation in Construction. 2006 Nov;15(6):800-7.
8. Oh SW, Kim MH, Kim YS. [The application of data warehouse for developing construction productivity management system]. Korean Journal of Construction Engineering and Management. 2006 April;7(2):127-37. Korean.
9. Park MS, Kim N, Lee HS, Ahn C, Lee KS. [Construction project performance management using BSC and Data Warehouse]. Korean Journal of Construction Engineering and Management. 2009 Mar;10(2):14-25.
10. Fan H, Kim H, Zaiane OR. Data warehousing for construction equipment management. Canadian Journal of Civil Engineering. 2006 July;33:1480-9.