

# 철골골조공사의 실시간 진도관리 시스템 구축에 관한 연구

## A Study on the Development of a Real-Time Schedule Progress Control System in Steel Structural Construction

김 경 훈\*      김 경 환\*\*      이 윤 선\*\*\*      김 재 준\*\*\*\*  
Kim, Kyong-Hoon      Kim, Kyung-Hwan      Lee, Yoon-Sun      Kim, Jae-Jun

### 요 약

최근 공정관리를 위한 각종 기법들이 개발되고 있으며, 실질적인 시공프로세스를 구체적인 3차원 이미지로 형상화하여 보여줌으로써, 공정계획에 대한 추상적인 개념 모델을 구체적인 것으로 변환하여 발전시킬 수 있다. 하지만 이는 3D-CAD와 공정프로그램을 연계하여 사용하는 방식으로 사람이 정보를 옮겨주거나 입력을 해야 하는 번거로움이 수반된다. 본 연구에서는 3D-CAD 객체 정보 시스템 활용 및 공정자동생성 모듈을 활용하여 통합DB 구축을 통한 실시간 철골공사 공정관리 시스템 프로세스를 구축하였다. 본 연구는 IDEF0 모델을 이용하여 철골공정 관리 프로세스를 제시하였으며, RFID 시스템 설계를 통하여 실시간 진도관리 및 분석 프로세스를 제시하였다. 이를 통해 예상공정정보의 신속한 생성과 실시간으로 실제공정정보와의 비교·분석 및 시뮬레이션을 실현하고자 한다.

키워드: 3D 모델 정보, RFID 시스템, 공정생성, 일정진도관리, 자동화

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 공정관리를 위한 각종 기법들이 개발되고 있으며, 실질적인 시공프로세스를 구체적인 3차원 이미지로 형상화하여 보여줌으로써, 공정계획에 대한 추상적인 개념 모델을 구체적인 것으로 변환하여 발전시킬 수 있다. 이를 통해 실제 공정상황에 대하여 보다 용이하게 이해함으로써 발생 가능한 잠재적 문제점을 정확히 파악 분석하여 이에 대비할 수 있다. 하지만 이는 3D-CAD와 공정프로그램을 연계하여 사용하는 방식으로 사람이 정보를 옮겨주거나 입력을 해야 하는 수작업이 많았는데 본 연구에서는 3D-CAD의 정보를 Database로 구축하여 모든 부재의 정보, 위치정보, 작업순서, 예정 작업시간, 실시간 작업시간 등이 자동으로 Database로 생성 및 연계되는 자동화 프로세스를 제안하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

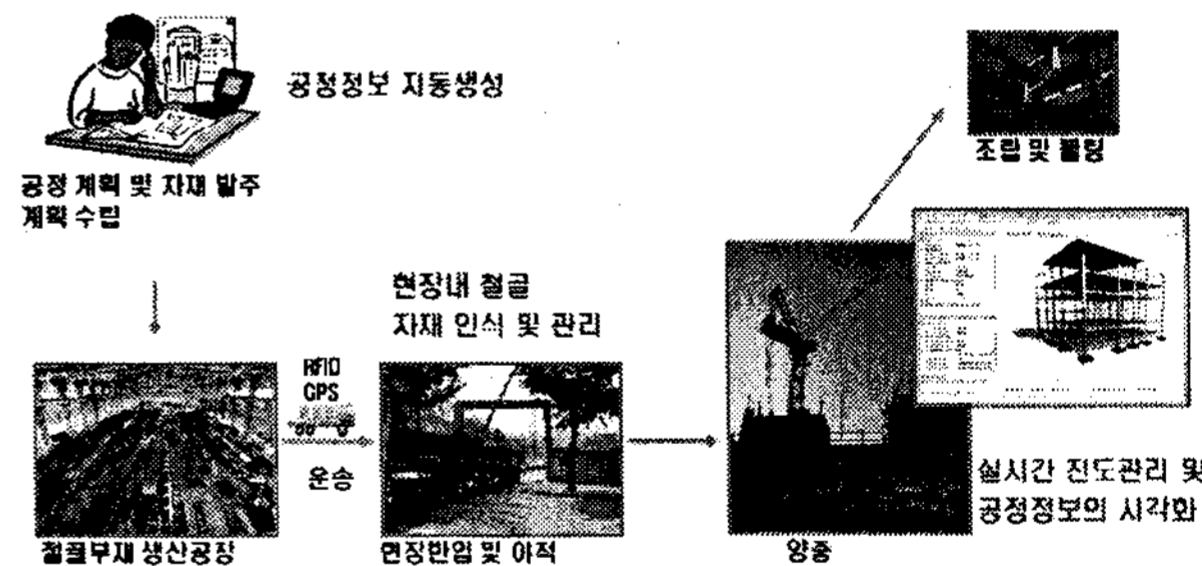


그림 1. 연구의 범위

그림 1은 연구의 범위를 표현한 것이다. 본 연구는 향후 시험 시공할 로봇틱 크레인 기반 고층건물에 대한 철골 구조체의 공정으로 연구의 범위를 한정하였으며, 공정계획 수립시 공정정보 자동생성 모듈 개발, RFID를 활용한 철골 자재 실시간 진도관리 및 분석을 연구의 범위로 한정한다.

본 연구를 위해 먼저 관련 문헌 조사를 통해 골조공사 공정분석과 3D-CAD 및 RFID 시스템과 관련된 고찰을 하였다. 이를 통하여 IDEF0를 이용하여 철골공정 관리 시스템 모델을 제시하여, 철골공정 관리 프로세스를 제시하였으며, RFID 시스템 설계를 통하여 실시간 진도관리 및 분석 프로세스를 제시하였다.

\* 일반회원, 한양대학교 건축환경공학과 박사과정  
zzlzzl@hanyang.ac.kr  
\*\* 일반회원, 건국대학교 건축공학과 조교수, 공학박사  
kykim@konkuk.ac.kr  
\*\*\* 일반회원, 한양대학교 건축환경공학과 계약교수, 공학박사  
yoonsunlee@hanyang.ac.kr  
\*\*\*\* 종신회원, 한양대학교 건축환경공학과 정교수, 공학박사  
jjkim@hanyang.ac.kr

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2006년도 첨단융합건설기술개발사업[과제번호: 06첨단융합D01]의 지원으로 이루어졌습니다.

## 2 예비적 고찰

### 2.1 철골 공정 Process 분석

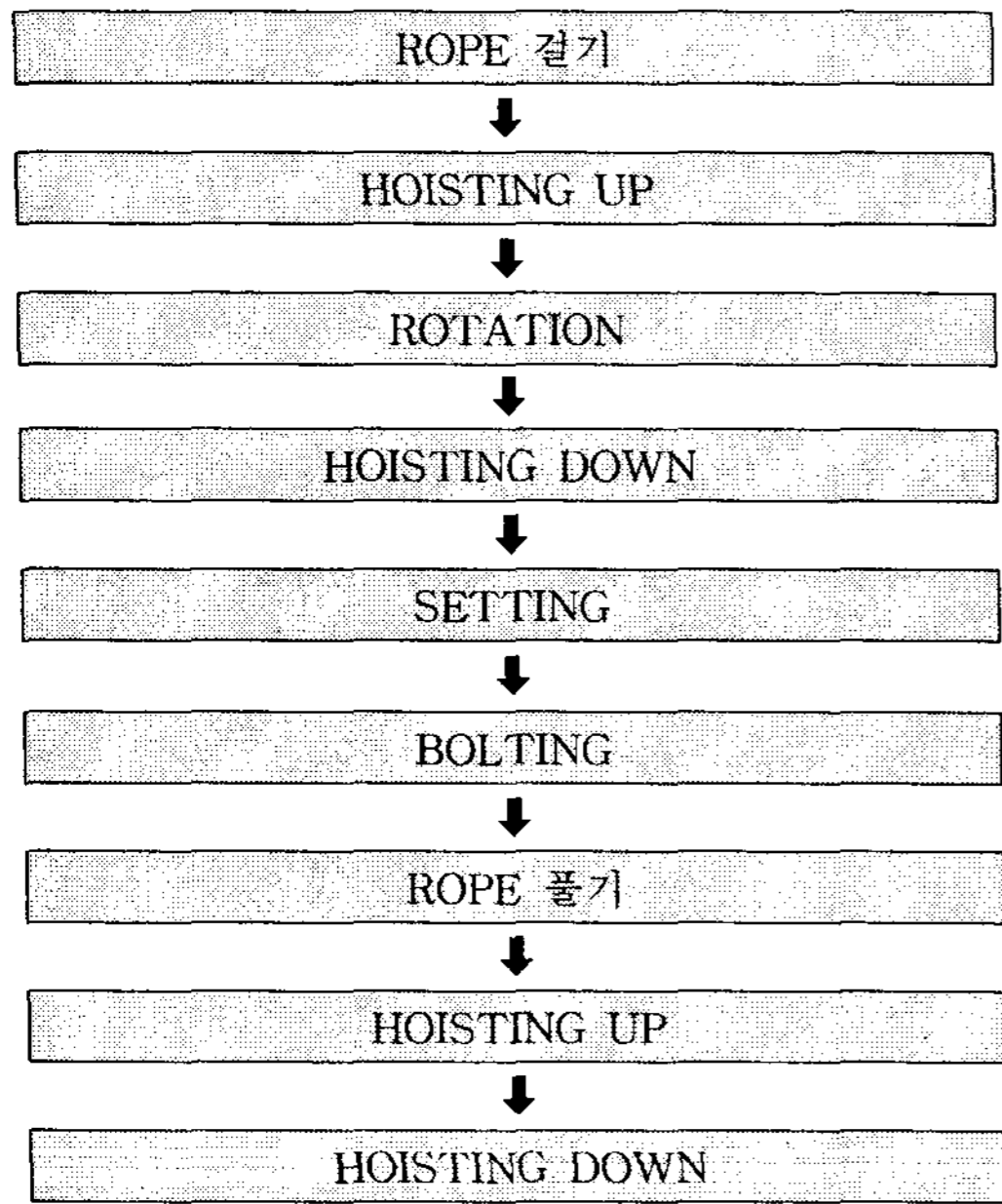


그림 2. 타워크레인 One Cycle Time

표 1. One Cycle 공정 분석 요약표

구분		소요 일수	비고
철골부재 설치	1) COLUMN	1.04	COLUMN: 19PCS/일
	2) GIR	1.93	
	3) BEAM	3.9	
가볼팅		1	T.S BOLT: 150개/일,인
PLUMBING		1	
COLUMN WELDING		2	숙련된 용접사 1인 5개 정도 4명 정도 필요
BOLT TIGHTENING		4	
T/C CLIMBING		1.5	
잡양중 & LOSS TIME		1.5	
소계		17.87	
계		15.00	용접, 볼팅 작업의 중복성 고려

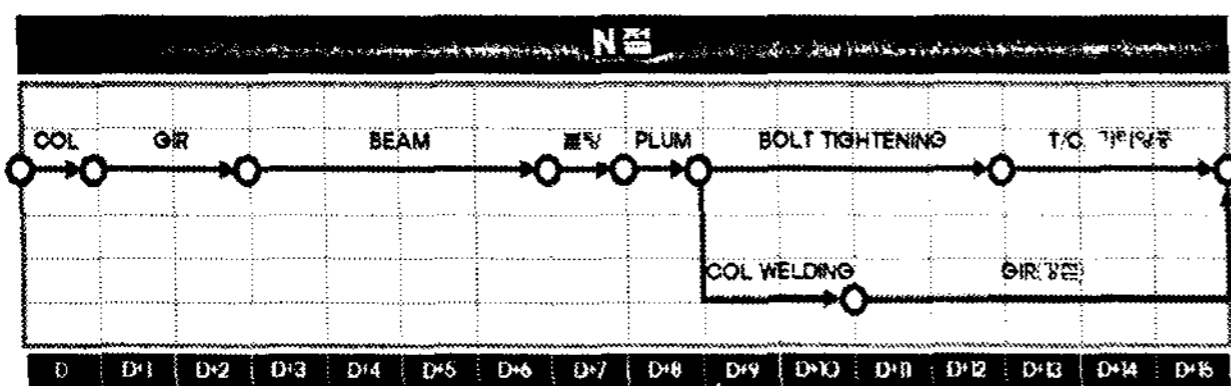


그림 3. 철골공사 한절에 대한 One Cycle Time

일반적인 철골공정표 작성은 그림 2와 같은 타워크레인 양중 프로세스를 고려하여 1절(One Cycle Time)에 대한 Column, Girder, Beam의 각 자재 개수, 양중소요시간, 양중부하를 산출하며, 표 1과 같이 공정 분석 요약표를 작성한다. 공정 분석 요약표는 시간을 고려해야 하는 작업 Activity 별 소요시간이다. 이를 통해 1절에 대한 공정표가 산출된다. 1절에 대한 공정표는 기준층에 대한 소요시간이므로 반복적으로 공사가 완료되는 절까지 적용된다.

본 연구에서는 공정표 작성에 필요한 Input 요소를 투입시키면 자동으로 Output 요소를 산출할 수 있는 프로세스를 제안하고자 한다. 또한, 기존의 절단위 철골 공정표에서 각 자재별 작업순서 및 설치시간을 적용하여, 실시간으로 각 자재마다의 예상공정과 실제공정간의 비교·분석을 통한 공정관리가 가능하도록 하고자 한다.

### 2.2 시스템 구성 및 정보흐름

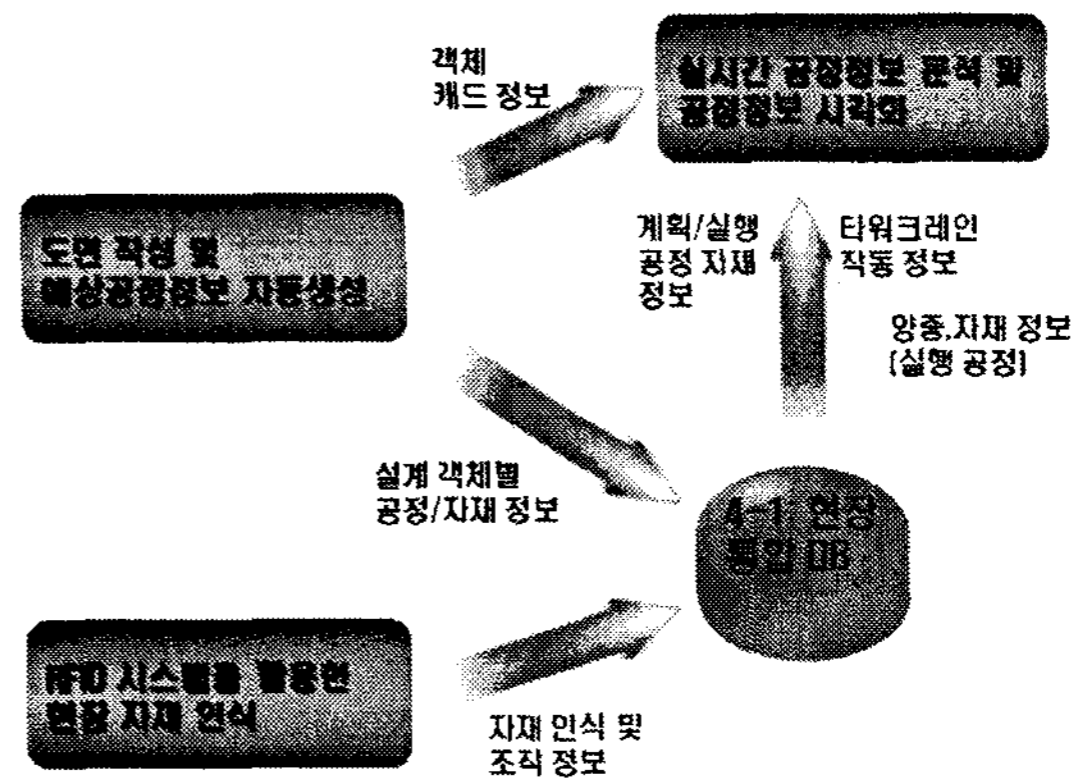


그림 3. 시스템 구성 및 정보 흐름

본 연구에서는 현장 통합 DB와 예상공정 정보 및 실제 공정 정보 DB 자동생성 모듈을 적용하여 실시간으로 공정 정보 분석 및 공정정보 시각화를 가능하도록 하고자 한다.

그림3은 본 연구의 구성 및 정보의 흐름을 나타내는 것으로서 3D-CAD 도면 작성 및 Input요소를 통하여 각 자재별 예상공정정보가 자동으로 DB로 생성되며, RFID 시스템을 활용한 실제 공정정보 또한 자동생성 시스템에 의해 자동으로 통합 DB로 구축되어, 실시간으로 공정정보 분석 및 공정정보의 시각화를 실현시킨다.

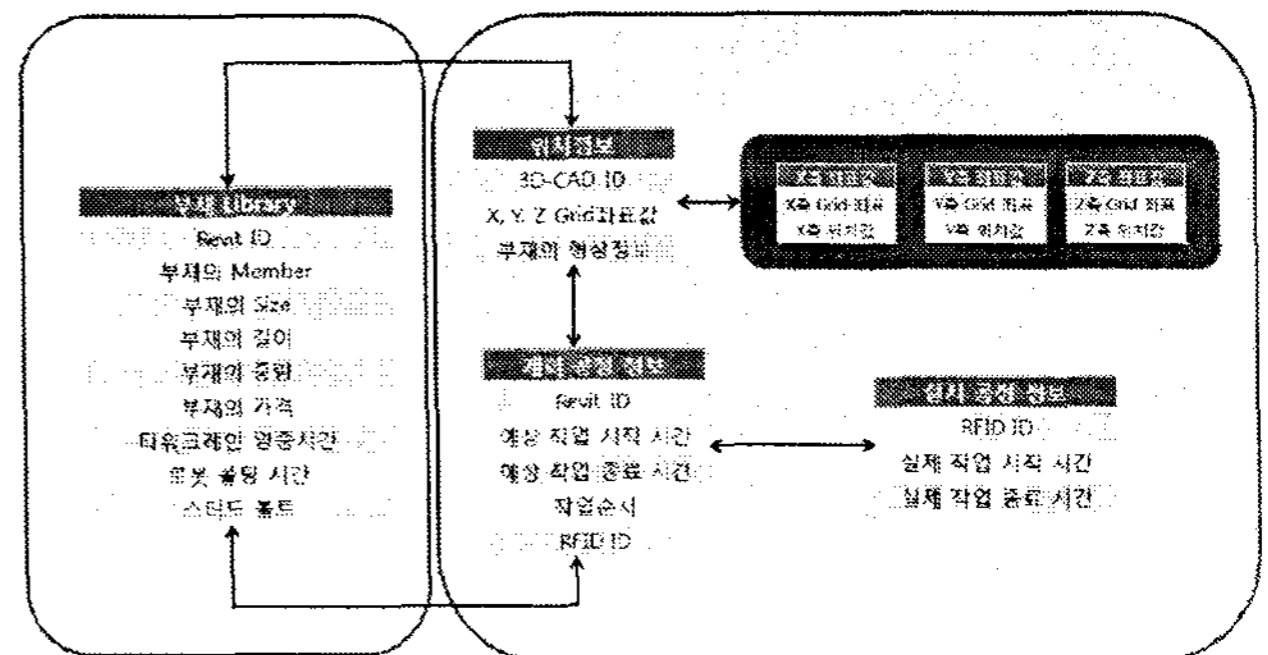


그림 4. 통합 DB 구성 및 연계 관계

그림 4는 통합 DB 정보의 구성 및 연계 관계를 나타낸다. 3D-CAD도면 작성시 각 부재 Library를 나타내는 부재 정보DB를 생성시킨다. 이는 철골자재의 길이, 중량, 가격 등이 포함된다. 자재의 위치정보DB를 생성시키기 위해서는 설계도면과 시공도면이 상이한 것을 일치화(부재를 실세계에서의 성상과 동일한 형태로 모델링 하는 것)하여야만 공사 초기단계에서부터 부재에 대한 정확한 정보가 입력이 되고 그 자료가 통합 Database로 전송 되므로 설계도면과 시공도면의 일치화가 필요하다. 계획공정 정보DB는 각 부재별 작업 시작시간과 종료시간이 나와 있어 실제공정 정보DB의 작업 시작시간과 종료시간과 비교하여 분석할 수 있다.

### 2.3 IDEF0 방법론

IDEF0 모델링 방법론은 조직이나 시스템의 의사결정, 행동, 활동을 모델링 할 수 있도록 디자인 된 방법론이다. IDEF0는 Cell Modeling 그래픽 표현 방법을 바탕으로 조직 및 시스템을 기능적 관점에서 분석, 커뮤니케이션 할 수 있는 기능 모델링 방법론이다. 분석 도구로서의 IDEF0는 수행되는 각 기능 및 그 기능이 수행되는데 필요한 자원을 정의하며, 이는 현 조직 및 시스템의 기능 분석을 위하여 작성된다(AS-IS Model). IDEF0 기능 모델을 통해 현재 수행하는 주요 활동을 분석, 정의하고 문서화하며 이를 통해 의사소통을 원활히 할 수 있다. IDEF0 모델 다이어그램은 박스 형태로 표시되는 Activity와 화살표로 표시되는 Input, Control, Output, Mechanism(ICOM Arrow)으로 구성된다.

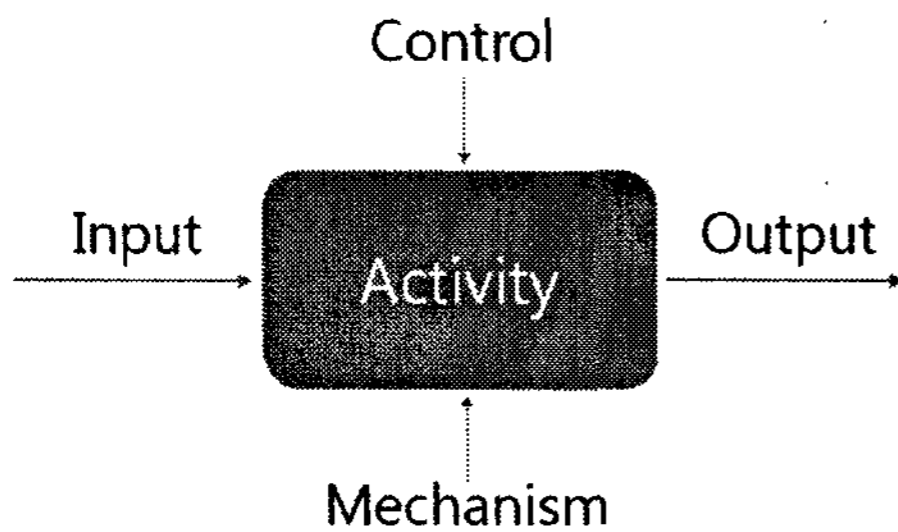


그림 5. IDEF0 모델 다이어그램

- Activity: 기능을 수행하는 행위, 동작, Process 등을 표현한다.
- Input: Activity Box의 왼쪽에 들어가는 Arrow로, 입력정보(요청, 문의, 공문, 도면 등)를 나타낸다.
- Output: Activity Box의 오른쪽으로 나오는 Arrow로, Input 정보가 Activity에 의해 가공되어 나오는 정보(결과, 제품, 자료, 도면 등)를 표현한다.
- Control: Activity Box의 위쪽에서 내려오는 Arrow로, Activity의 수행을 통제한다.
- Mechanism: Activity Box의 아래에서 올라오는 Arrow로, Activity 수행의 주체(사람 또는 해당 부서, 도구, 시스템 등)를 나타낸다.

### 3. 실시간 철골 공정 관리 System Process

실시간 진도 관리 시스템인 RTPM 시스템 프로세스 및 알고리즘은 자동 공정 생성 시스템의 통제를 받아 시스템 처리에 필요한 Input요소(설계관련 정보, 예상 공정 관련 정보, RFID 시스템 설계)를 투입시키면 자동으로 Output요소(실시간 공정 분석 및 시뮬레이션, 설치 부재를 실시간으로 타워크레인 및 로봇에 위치정보 전송)를 산출하여 실시간으로 시공자동화 현장작업을 지원한다.

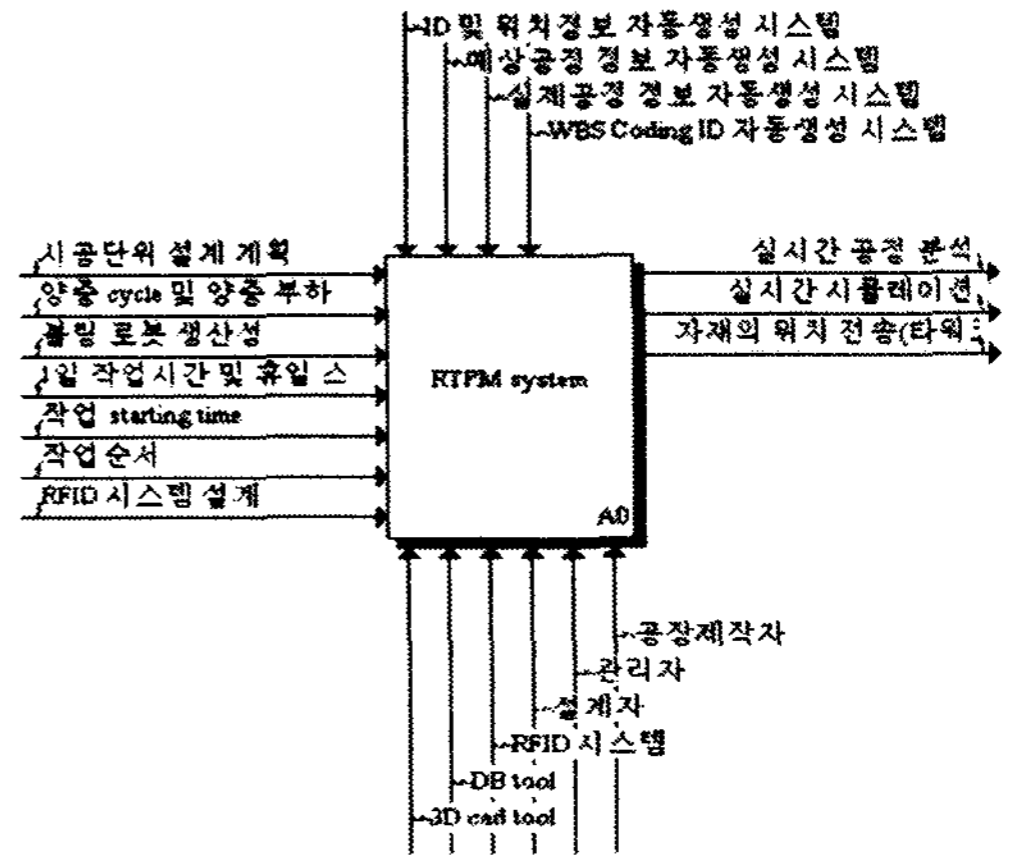


그림 6. 철골공정 관리 system ICOM

#### 3.1 실시간 철골 공정 관리 System 1 Level Process

IDEF0 1단계에서 실시간 철골 공정 관리 System의 진행 과정은 다음과 같다. 도면 작성을 통하여 자재별 객체를 생성하고 Input요소에 해당하는 요소들을 투입시키면 자동 생성 시스템과 RFID 시스템의 연계를 통하여 자동으로 예상 공정 정보와 실제 공정 정보가 실시간으로 자동 Update가 된다.

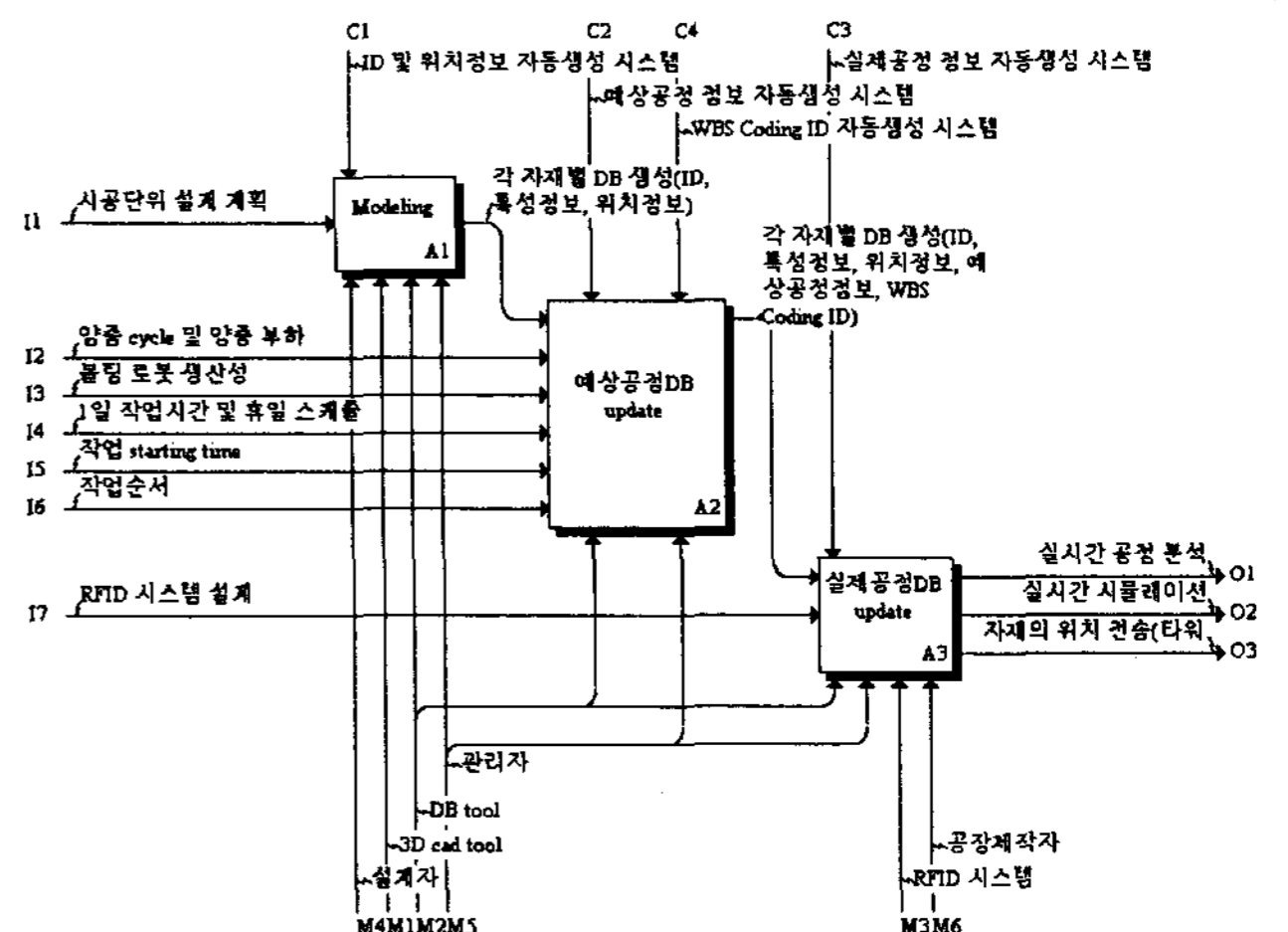


그림 7. 1 Level Process

<1 Step-A1 Modeling>

본 프로세스는 시공현장의 실시공 되는 시공자재와 설계 도면상에 구축되는 각 자재 객체가 일치화 되어 모델링 되어야한다. 시공단위 설계 계획이 완료가 되면 3D CAD 도면 작업이 시행되며 설계자와 시공관리자는 3D CAD툴을 이용하여 도면작성을 함께 수행하며 자재별 객체를 생성시킨다. 자재별 생성된 객체는 Database 관리자가 구축한 ID 및 위치정보 자동 생성 시스템에 의하여 자동으로 자재 객체 ID와 위치정보를 생성시키고 이를 Database에 저장한다.

<2 Step-A2 예상 공정 DB Update>

생성되고 저장된 자재 객체 ID 및 위치정보, 예상 공정 정보, WBS Coding ID를 연산 수행하여 산출 할 수 있는 공정관련 요소들을 투입시키면 Database 관리자가 프로그래밍한 예상 공정 정보 자동생성 시스템에 의하여 자동으로 예상 공정 정보를 산출하며 이를 Database에 저장한다.

<3 Step-A3 실제 공정 DB Update>

이전 과정에서 산출된 자재 객체 ID 및 위치정보, 예상 공정 정보와 RFID 시스템 설계가 투입되면 실제 공정 정보 자동생성 시스템에 의해서 실제 공정 정보가 실시간으로 자동 생성되며 저장된다. 자동 생성되며 저장된 정보는 실시간으로 공정 분석이 가능하며 Visual Simulation을 통하여 가시적으로 실시간 현장 진행상황을 확인 할 수 있으며 타워크레인 및 로봇에게 자재의 양중 및 설치 위치를 전송하여 시공 자동화를 실현한다.

3.2 실시간 철골 공정 관리 System 2 Level Process

1) Modeling Process

IDEF0 2단계에서 Modeling(도면 작성)의 진행 과정은 다음과 같다. 시공단위 설계 계획 요소가 투입되면 자재별 객체 ID 및 위치정보 자동생성 시스템에 의하여 각 자재별 ID 및 위치 정보 Database가 생성되고 저장된다.

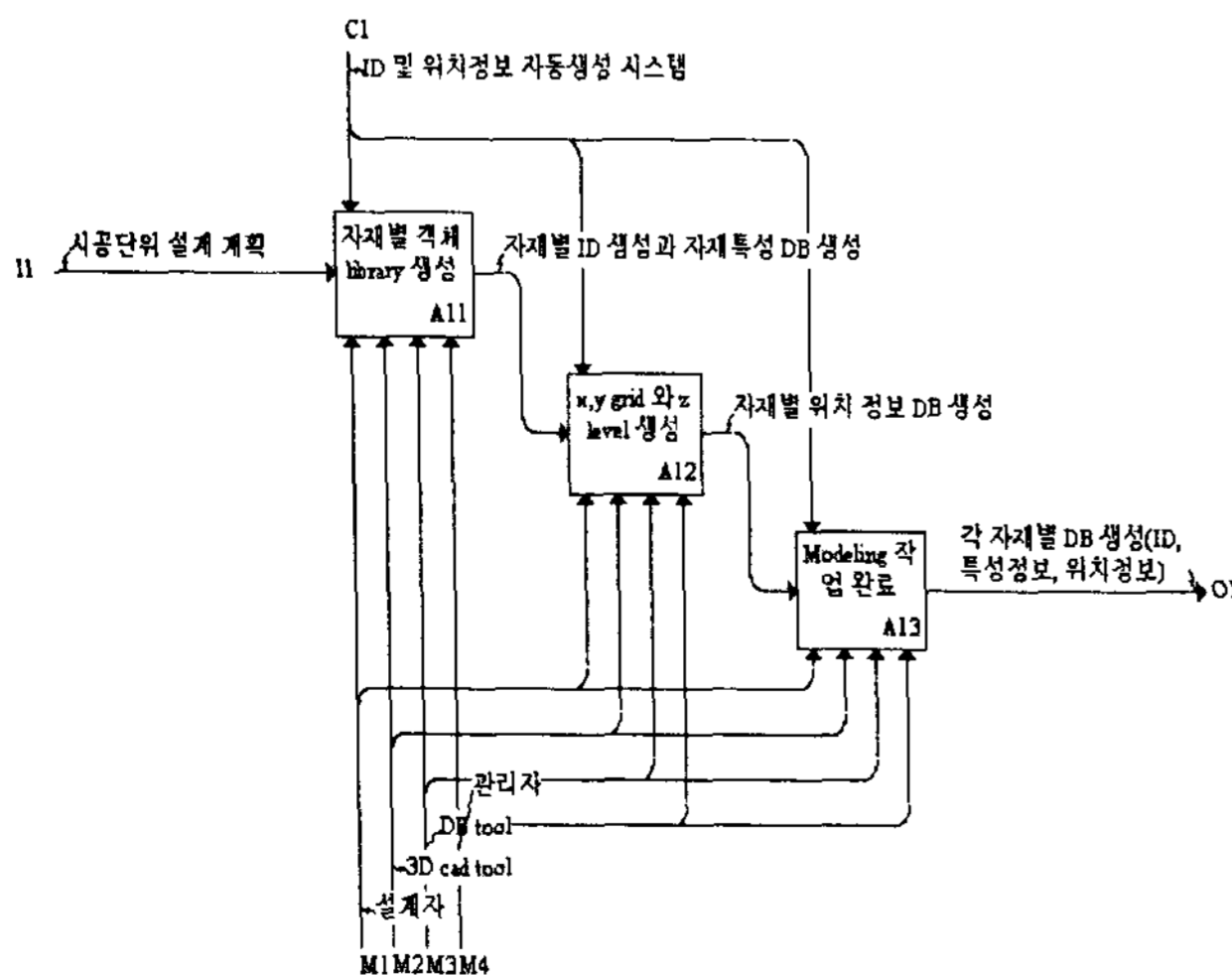


그림 8. 2 Level Process(Modeling)

<1 Step-A11 자재별 객체 Library 생성>

본 프로세스는 철골 자재별 실시간 관리를 위하여 3D CAD 도면 작업 시 시공현장의 여건과 부재단위 시공 계획에 대한 고려가 필요하며 이를 고려하여 시공단위별 자재 객체를 생성시킨다. 각 자재별 객체를 생성시키면 3D CAD 상에서 자동으로 ID가 생성된다. 설계자와 시공 관리자는 협의를 통하여 생성된 자재 객체에 대하여 각 자재별 실시공 단위 객체 Library를 생성시킨다. 이는 Database 관리자가 Database Tool을 이용하여 구축된 ID 및 위치정보 자동 생성 시스템에 의하여 Database로 생성 및 저장된다.

<2 Step-A12 X, Y Grid와 Z Level 생성>

자재별 ID와 자재특성 정보는 Database 관리자가 설계한 자동 생성 시스템에 의하여 위치정보가 생성되고 Database에 저장된다. 이때 Database에는 도면상에 나타나 있는 X, Y Grid와 Z Level의 시작점과 끝점 값으로 저장되며 X, Y Grid와 Z Level의 정확한 위치값을 나타내는 정보는 Grid Table로 Database에 따로 저장이 된다. 이를 통하여 설계 변경시 부재의 해당 X, Y Grid 및 Z Level 단위로 부재를 묶어 위치 정보를 함께 변경 시킬 수 있으며 연산을 통하여 Grid 및 Level 에 해당하는 자재의 3D CAD 도면 및 실현장에 설치될 정확한 위치를 파악할 수 있다.

<3 Step-A13 Modeling 작업 완료>

자재를 하나하나 생성할 때마다 자재객체의 해당 정보는 자동으로 Database에 저장되며 실시공 될 모든 부재의 3D CAD Modeling 작업이 완료되면 도면에 작성된 자재객체의 ID 및 자재특성과 자재위치 정보가 모두 Database에 생성되며 저장된다.

2) 예상 공정 DB Update Process

IDEF0 2단계에서 예상 공정 DB의 진행 과정은 다음과 같다.

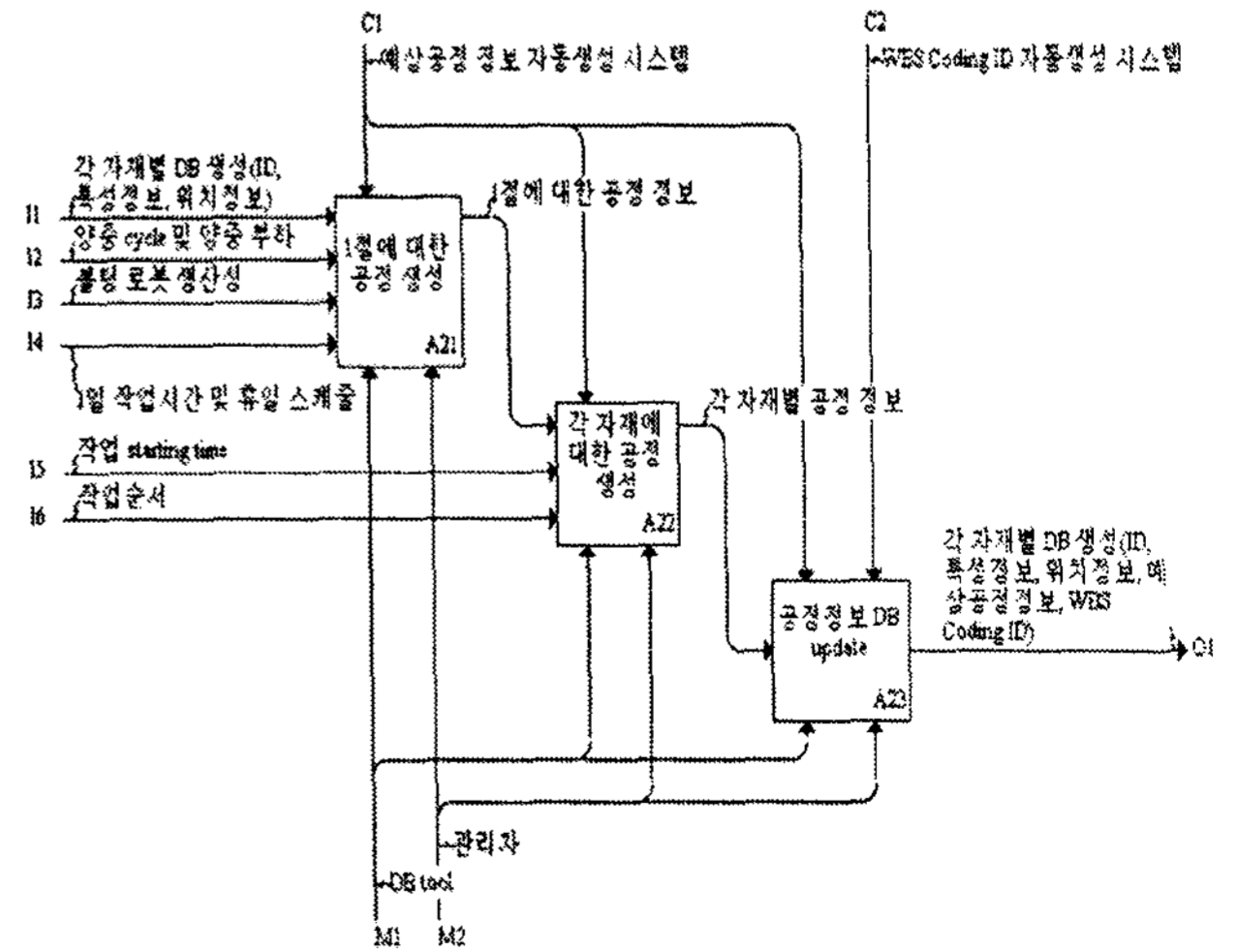


그림 9. 2 Level Process(예상공정 DB Update)



이미 생성된 정보(ID, 위치정보) 및 예상 공정 관련 연산 Input요소들을 투입시키면 예상 공정 정보 자동생성 시스템에 의하여 각 자재별 예상 공정 정보 Database가 생성되며 저장된다.

<1 Step-A21 1절에 대한 공정 생성>

도면작성 프로세스 및 알고리즘에 의해서 산출된 ID 및 위치 정보 요소와 철골 골조 공사 1절에 해당하는 예상 공정 정보를 산출하기 위한 시간 관련 요소들을 투입시키면 자동 생성 시스템에 의하여 자동으로 철골 골조 공사 1절에 해당하는 공정정보가 산출된다. 철골 골조 공사 1절에 해당하는 시간정보는 부재의 종류와 수량, 양중 1Cycle Time 및 양중부하, 로봇 셋팅 및 볼팅 시간, 1일 작업가능 시간을 통하여 산출이 가능하다. 이는 자동 생성 시스템으로 연산이 가능하도록 Database관리자가 알고리즘 및 Database Tool을 활용하여 설계한다.

<2 Step-A22 각 자재에 대한 공정 생성>

철골 골조 공사 1절에 해당하는 시간 정보가 산출되면 이를 바탕으로 철골 골조 공사의 시작 시간과 1절에 대한 작업 순서를 기 준비된 절차 혹은 사용자 지정으로 설정해주면 절단위로 반복되는 철골 공사 작업의 각 자재별 예상 공정 정보가 자동으로 생성된다.

<3 Step-A23 각 자재에 대한 공정 생성>

이전 과정을 통하여 각 자재별 예상 공정 정보는 자동으로 Database에 저장되며 부재별 WBS Coding 체계에 의해서 자동으로 ID Number가 생성된다. 생성된 부재별 WBS Coding ID는 차후 RFID ID로 기록이 되어 각 부재별 ID로 Matching이 되어 관리된다. 본 과정을 거치면서 산출된 각 부재별 3D CAD 도면 ID, 위치정보, 예상 공정 정보, WBS Coding ID가 Database로 생성되며 저장된다.

3) 실제 공정 DB Update Process

IDEFO 3단계에서 실제 공정 DB의 진행 과정은 다음과 같다.

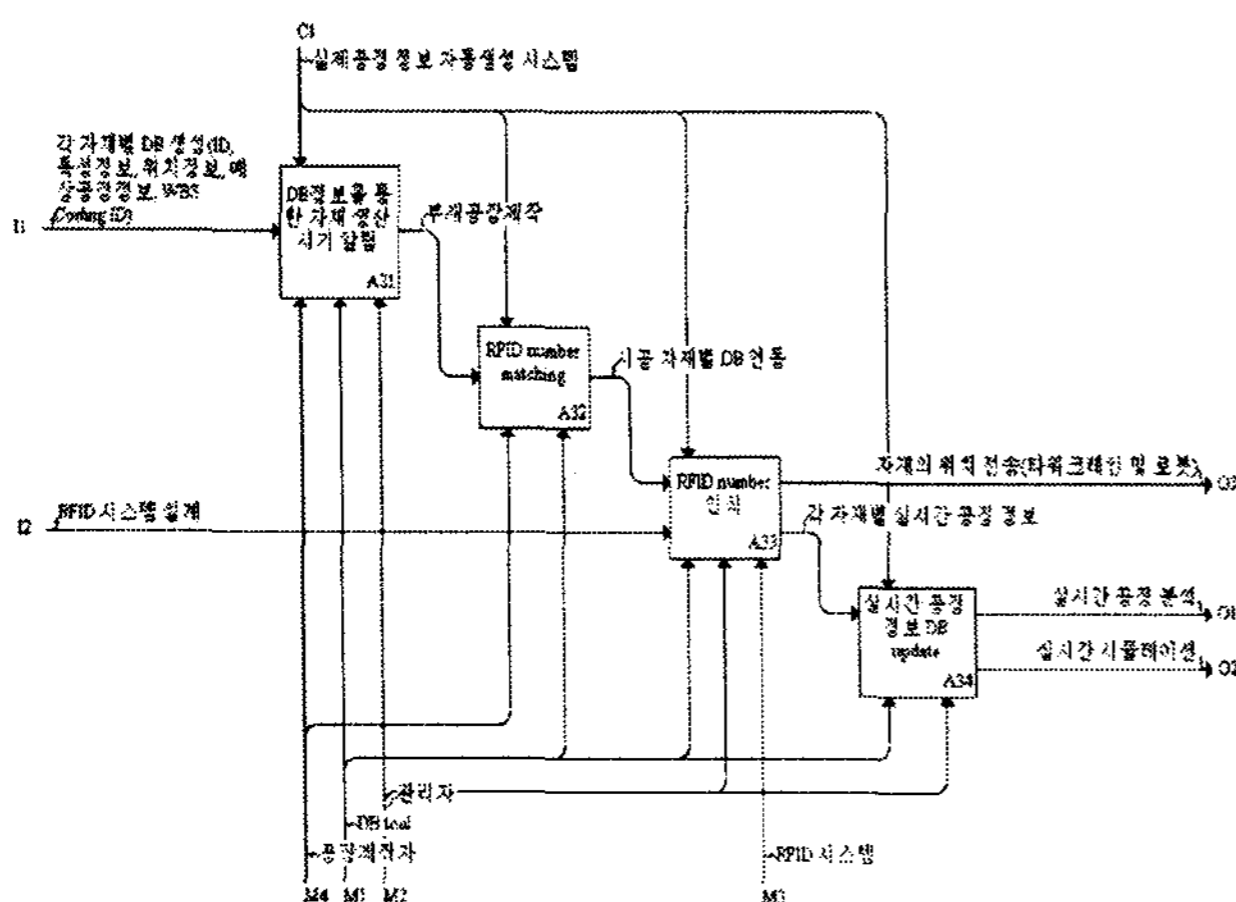


그림 10. 2 Level Process(실제공정 DB Update)

실제 철골골조 공사 시공이 시작되기 전에 기 생성된 정보(ID, 위치정보, 예상 공정 정보, WBS Coding ID)가 철골 자재 생산 업체에 전송이 되어 자재의 생산 시기를 자동으로 알려주며 실시간으로 현장 진행 정보를 Database로 도출하여 타워크레인 및 로봇에 위치정보를 알려주며 실시간 공정 분석 및 Visual Simulation이 가능하도록 한다.

<1 Step-A31 DB정보를 통한 자재 생산 시기 알림>

각 자재별 정보(ID, 위치정보, 예상 공정 정보, WBS Coding ID)를 공장제작자가 받으면 자동알림시스템에 의하여 생산시기를 파악하고 생산부재를 공장에서 생산한다.

<2 Step-A32 RFID Number Matching>

공장 제작자는 각 자재별로 기 생성된 WBS Coding ID를 RFID Number ID로 기록하여 생산자재 정보를 Database와 연동시킨다.

<3 Step-A33 RFID Number 인식>

RFID 시스템 설계로 구축된 RFID 시스템은 자동으로 RFID ID를 인식하며 기록하여 RFID ID에 해당하는 자재의 위치정보를 Database에서 타워크레인 및 로봇에 전송하여 양중 및 설치위치를 알려준다.

<4 Step-A34 실시간 공정 정보 DB Update>

RFID 시스템을 통하여 구축된 실제 공정 정보는 Database에 자동 생성되며 저장된다. Database에 저장된 예상 공정 정보와 실제 공정 정보를 비교 분석하여 실시간으로 공정 분석과 Visual Simulation을 실시한다.

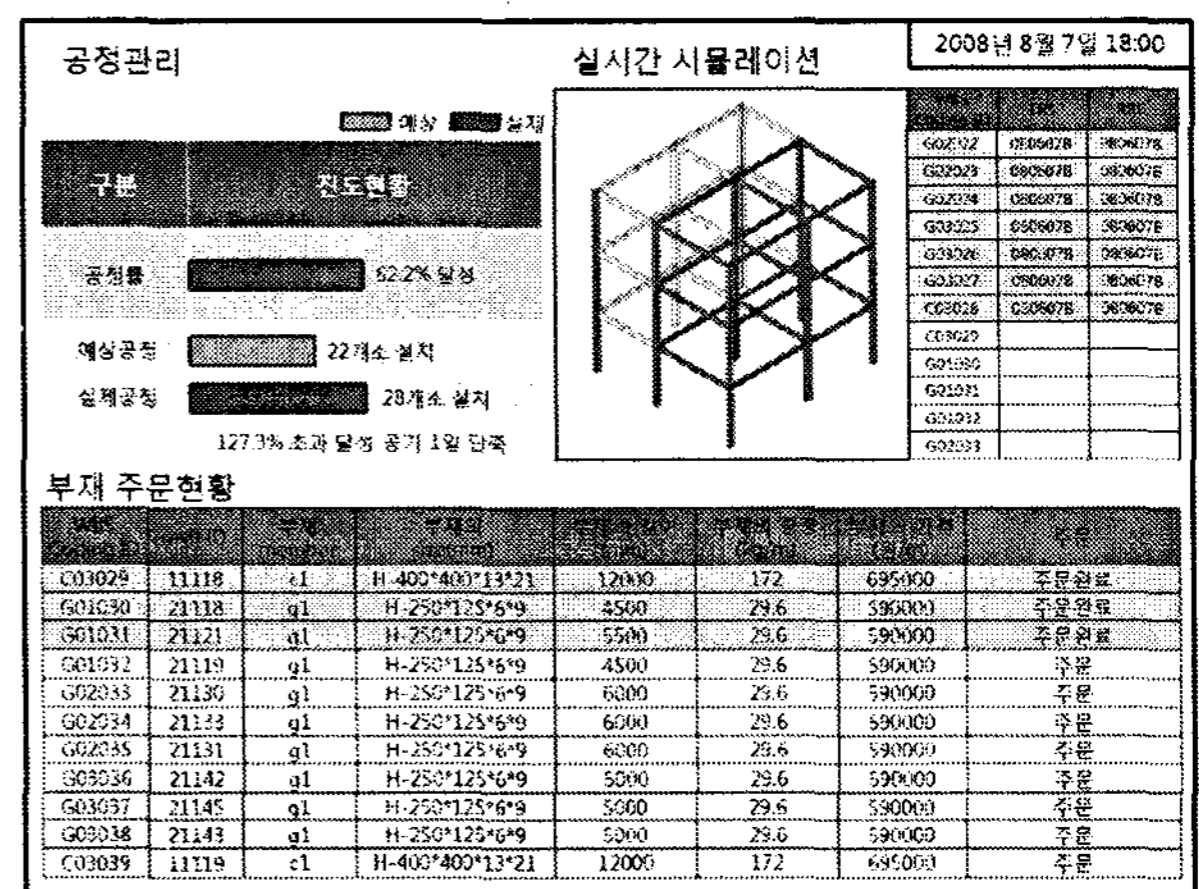


그림 11. 실시간 공정 분석

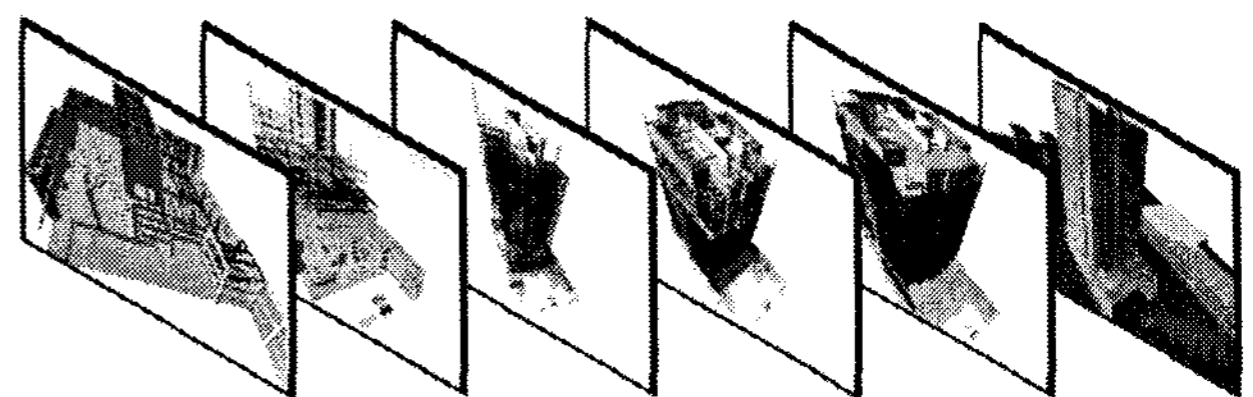


그림 12. 실시간 공정 Simulation

### 3.3. 실제 공정 무인 자동 인식 시스템

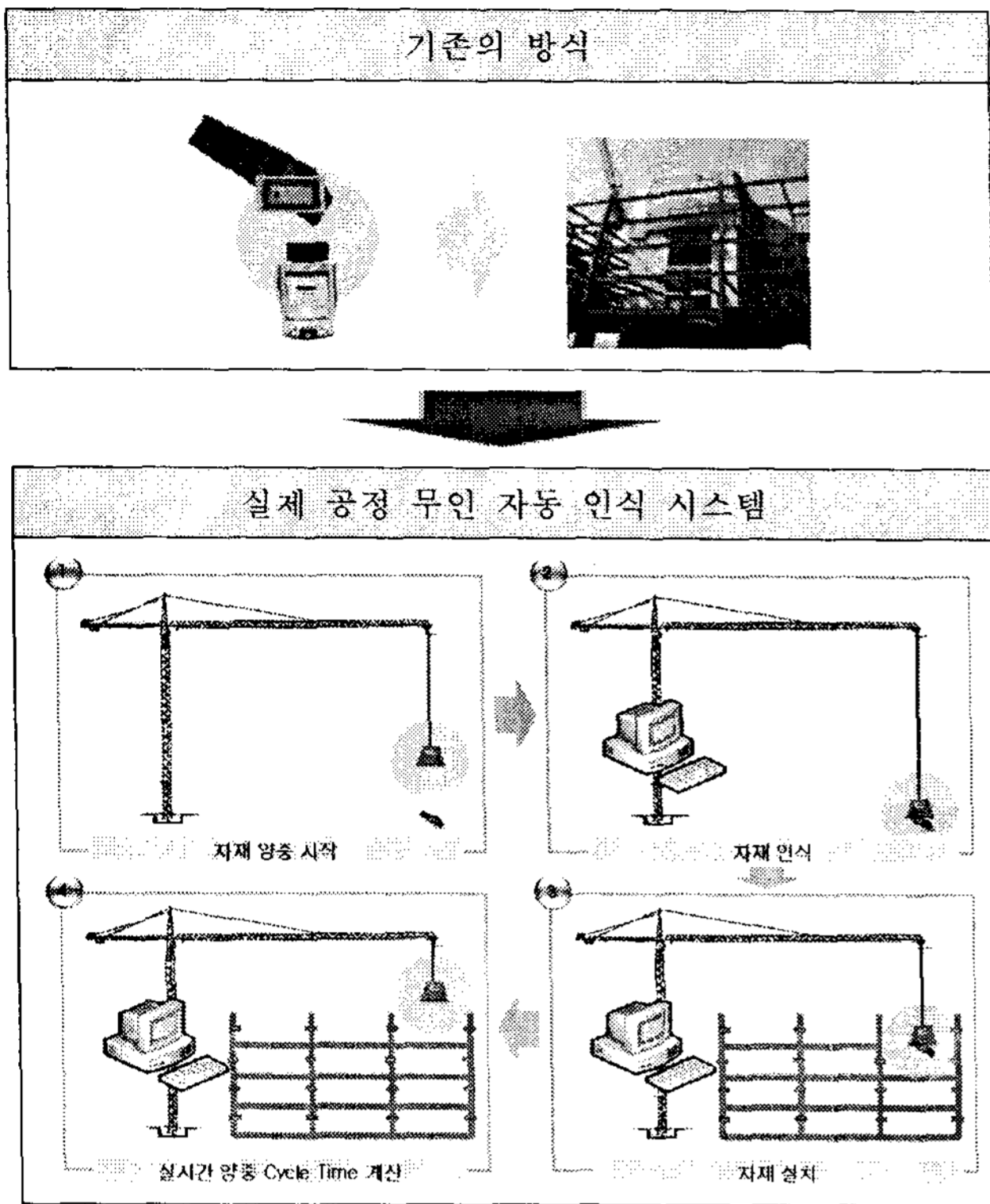


그림 13. 실제 공정 무인 자동 인식 시스템

실제 공정 DB 산출시 기존의 방식은 현장 관리자가 RFID Reader를 가지고 다니며 현장에서 자재 설치 전 RFID Tag를 탈착 후 스캔을 하여 산출하였지만, 본 연구에서는 RFID Tag를 무인으로 자동인식 시스템을 제안해 보았다. 본 시스템의 프로세스는 타워크레인 후크에 RFID Reader 및 수신기를 설치하여 자재 양중시 자동으로 인식하여 자재 설치 시작 시간과 종료시간을 자동으로 생성시켜 DB에 저장한다.

### 4. 결론

본 연구에서는 3D-CAD 객체 정보 시스템 활용 및 공정 자동생성 모듈을 활용하여 통합DB 구축을 통한 실시간 철골공사 공정관리 시스템 프로세스를 구축하였다. 본 연구를 통하여 예상공정정보의 신속한 생성과 실시간으로 실제공정정보와의 비교 분석 및 시뮬레이션을 실현하고자 한다.

본 연구를 통해 개발한 철골공정 관리 시스템의 향후 연구과제는 보다 효과적이고 지능적인 모델의 개발을 위해 현재 개발된 모델을 지속적으로 수정, 보완할 필요가 있다. 이를 통해 실무적용 확대 가능성을 높이고 프로젝트 정보 관리 수준을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. 이재철, "4D 모델의 활용성 향상을 위한 3D 모델 정보 기반 공정 자동생성 및 물량산출 모듈 개발", 대한건축학회논문집, 제20권 제2호, 2004
2. 이재철, "4D 시뮬레이션 및 일정별 물량정보검색을 위한 3D 모델 정보 활용", 한국건설관리학회논문집, 제5권 제4호, 2004
3. 이근형 외, "IFC를 이용한 설계정보관리시스템 핵심부 구축", 한국건설관리학회논문집, 제1권 제2호, 2000
4. 강인석, "건설관리분야 4D시스템의 기능분석을 통한 활용성 개선방안", 대한건축학회논문집, 제18권 제10호, 2002
5. 이재철, "4D 시뮬레이션을 위한 객체 라이브러리의 정의 및 구현", 대한건축학회논문집, 제18권 10호, 2002
6. 조훈희 외, "4차원 CAD 기반의 지하공사 간섭관리 시스템 개발 연구", 대한건축학회논문집, 제17권 제9호, 2001
7. 강인석, "건설공사 4D CAD시스템의 일정 및 진도관리기능 개발 사례", 대한건축학회논문집, 제22권 제8호, 2006
8. Nashwan Dawwod et al, "Development of an Integrated Information Resource Base for 4D/VR Construction Processes Simulation, Automation in Construction, 2002
9. Koo, B., "Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction", Journal of Construction Engineering and Management, July/August, 2000

### Abstract

All sorts of technique for schedule progress management is being developed recently. These can change and develop the abstractive concept model to a detailed model that describes the visual 3D image about a schedule plan.

but, this technique is troublesome, because this requires the handwork by means of connection between 3D-CAD and scheduling Program. In this study, the process of real-time schedule progress control system using the integrated database by 3D-CAD object information system and schedule module is presented. This study present the process of a schedule progress management using IDEF0 model, and the process of real-time schedule progress management using RFID system. Through this study, we want to realize the rapid generation of estimated schedule information and to simulate and analyze actual schedule information by real-time.

Keywords : 3D Model Information, RFID System, Schedule Module, Schedule Progress Control, Automation