

## 지식 기반 플랜트 건설 공정 계획 시스템의 개발

김우주

전북대학교 산업공학과 교수  
(cosmos@cosmos.chonbuk.ac.kr)

플랜트 건설 프로젝트는 다른 분야의 프로젝트에 비하여 상대적으로 높은 불확실성과 위험을 수반하게 되며, 이는 정확한 플랜트 건설 프로젝트의 관리가 프로젝트의 성공에 있어 매우 중요해진다는 것을 의미한다. 특히 프로젝트 관리 초기 단계에서 이루어지는 공정 계획과 일정 계획 작업의 성패가 곧 전체 플랜트 건설 프로젝트 수행의 성패를 결정하는 주요한 요인으로 인식되고 있다. 그럼에도 불구하고 대부분의 플랜트 건설 사업은 그 특유의 비구조성과 환경의 역동성으로 인해 적시에 정확하고 체계적인 공정 및 일정 계획 수립을 수행하고 있지 못한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 첫째, 플랜트 건설에 필요한 공정 지식을 모듈화하고, 둘째, 플랜트 건설 문제의 체계적 표현 방법을 마련하였으며, 셋째, 문제에 따라 필요한 공정들을 구성하고 계획을 수립하는 전문가의 지식에 대한 표현 기법과 이의 추론 방법론을 개발하였다. 또한 이렇게 수립된 공정 계획을 바탕으로 프로젝트 초기 단계에서의 일정 계획을 수립하는 휴리스틱 기반 일정 계획 방법론을 제안함으로써 보다 빠르게 공정 계획의 수행 가능성과 경제성을 여러가지 측면에서 고려해 볼 수 있게 된다. 이와 같은 자동화된 프로젝트 초기 단계의 공정 계획 수립은 계획 수립 소요를 극적으로 단축시키며 따라서 불확실한 상황이나 여건에 대한 고려를 체계적으로 그리고 충분히 수행할 수 있게 함으로써 보다 수립된 공정 계획의 완전성과 정확성을 높이게 될 수 있다. 본 연구에서는 또한 이상의 접근 방법을 시스템으로 구현하였으며, 구현된 플랜트 건설 공정 계획과 일정 계획 수립 시스템은 국내 최대 건설회사의 열병합 발전소와 하수처리장 건설을 위한 실제 프로젝트 관리 업무에 적용하여 그 성과를 경험적으로 증명하였다. 특히 이와 같은 실제 적용 사례는 본 방법론이 다른 플랜트 건설 분야에서도 쉽게 적용되어 프로젝트 관리 업무의 질적 향상과 생산성의 제고에 기여할 수 있음을 시사하고 있다.

### 1. 서 론

건설 프로젝트는 대부분의 경우 다른 분야의 프로젝트에 비해 상대적으로 높은 불확실성과 위험을 수반하게 된다. 특히 플랜트 건설 프로젝트는 이와 같은 건설 프로젝트 중에서도 그 불확실성과 위험도가 가장 높은 것으로 알려져 있다. 일반적으로 프로젝트에 수반되는 불확실성과 위험도가 클수록 프로젝트 관리의 중요성은 보다

커지며 특히 프로젝트 초기 단계에서 이루어지는 초기 공정 계획 수립의 신속성과 정확성이 결과적으로 전체 프로젝트의 성패를 결정할 정도로 그 중요성이 매우 크다(Clough and Sears, 1991). 그러나 이와 같은 초기 공정 계획의 중요성에도 불구하고 플랜트 건설 프로젝트 특유의 비구조성과 환경의 역동성으로 인해 그 계획 수립에 있어 많은 경우 심각한 부정확성과 비일관성 등이 발생하고 있다. 또한 이와 같은 공정 계획의 대부

분을 수작업에 의존함으로써 말미암아 계획 수립에 있어 상당한 기간을 소요하는 경우가 일반적이며 이는 곧 가장 상황과 정보의 변화가 빈번하고 그 변화 폭이 큰 프로젝트 초기 단계에 이들 변화에 대한 대응을 적절히 계획에 반영할 수 없음을 의미한다.

사실 이와 같은 건설 프로젝트 공정 계획 수립에서의 문제점들을 해소하기 위해 이미 많은 연구들이 수행된 바 있으며(Navinchandra et al., 1988; Hendrickson et al., 1987; Kartam and Levitt, 1990; Shaked and Warszawski, 1995), 이 중 몇몇 접근 방법들은 실제 건설 프로젝트 수행에 적용된 경우도 있다. 그럼에도 불구하고 아직 이와 같은 접근 방법론들을 실제 건설 프로젝트에서의 공정 계획 문제에 성공적으로 적용하기 위해서는 해결해야 할 많은 문제들이 여전히 남아 있는 실정이다(Kartam et al., 1991; M. and Beliveau, 1991; Levitt et al., 1988). 이러한 기존 접근 방법론들을 프로젝트 초기 단계의 공정 계획 수립과 이에 따른 일정 계획 수립에의 적용하는 것을 어렵게 만드는 가장 대표적 문제점은 바로 대부분의 기존 방법론들이 공정 및 일정 계획을 지원 함에 있어 건설 프로젝트에 관련된 모든 상세 기초 자료를 사전에 입력하도록 요구한다는 점이다.

실제 건설 공사의 초기 단계에서 이와 같은 상세 기초 자료는 그 양이 무척 방대할 뿐만이 아니라 특히 플랜트 건설 프로젝트는 과거 자료의 이용의 실제적으로 불가능하거나 적용하기 어려운 경우가 많아서 이들 자료의 수집 자체가 불가능한 경우도 많다. 따라서 이를 위해 대부분의 실제 플랜트 공사에서는 먼저 불완전하고 비구조적인 초기 공사 정보를 몇몇 전문가가 관련 지식을 바탕으로 일일이 수작업으로 보완하고 구조화

된 형태로 변환시켜야 하며 역시 결과적으로 도출되는 상세 정보들도 수작업을 통하여 적용하고자 하는 시스템에 입력하고 있는 실정이다. 이로 인해 앞에서 이미 지적한 바와 같이 공정 계획과 관련된 일정 계획이 부정확하고 비일관적으로 수립될 될 가능성이 매우 커짐은 물론이고 계획의 적시성 역시 보장하기가 어렵게 된다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다음과 같은 지식을 기반으로 한 접근 방법을 시도하였다. 먼저 이를 위해 우리는 세가지 유형의 지식 표현 방법을 마련하였는데 첫째가 플랜트 건설에 필요한 모듈 공정 지식을 표현하는 방법이며, 둘째가 플랜트 건설 문제를 체계적으로 표현할 수 있는 방법이다. 셋째로 플랜트 건설 문제에 따라 필요한 공정들을 구성하고 그 계획을 수립하는 전문가의 지식에 대한 표현 기법을 마련하였다. 또한 이상의 지식들을 바탕으로 우리는 새로운 플랜트 건설 사례에 대한 문제에 대해 전문가의 지식을 바탕으로 적절한 공정 계획을 도출할 수 있는 추론 기법과 도출된 공정 계획을 바탕으로 프로젝트 초기 단계의 일정 계획을 수립하는 휴리스틱 기반 일정 계획 방법론을 제안하였다. 이와 같은 지식 기반 접근 방법을 통해 자동화된 공정 계획 및 일정 계획 수립 방법은 먼저 계획 수립에의 소요 시간을 극적으로 단축시키며 동시에 보다 일관적이고 정확한 초기 계획 수립을 가능케 할 뿐만 아니라 불확실한 상황이나 여건의 변화에 대해서도 체계적이고 신속하게 대응할 수 있게 해 줌으로써 플랜트 건설 공사의 성공 가능성을 제고하고 기대되는 위험도도 완화시키는데 기여하게 된다.

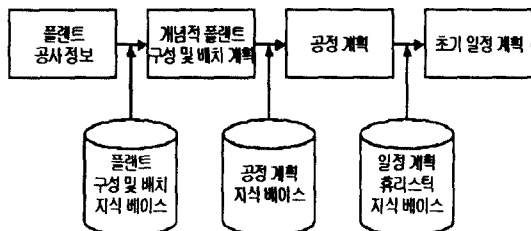
또한 이와 같은 지식 기반 플랜트 건설 공정 계획 방법론은 시스템으로 개발 구현되었으며 이미 국내 최대 건설 회사의 열병합 발전소와 하수

처리장 건설을 위한 실제 프로젝트 관리 업무에 적용하여 그 성과를 경험적으로 증명하였다. 특히 이와 같은 실제 문제에 대한 적용 성과는 본 방법론이 다른 플랜트 건설 분야에서도 쉽게 적용되어 프로젝트 관리 업무의 질적 향상과 생산성의 제고에 기여할 수 있음을 시사하고 있다.

이제 먼저 다음의 2절에서는 플랜트 건설 공정 계획 문제에 대해 간략히 소개하고 그 특유의 특성들에 대해 알아보고자 하며, 이어 3절에서는 본 연구의 구체적 접근 방법에 대해 상세히 소개하고자 한다. 다음의 4절에서 다른 지식 기반 공정 계획 및 초기 일정 계획 접근 방법론의 시스템 구현 결과와 그 성과에 대해 다루고자 하며 마지막으로 5절에서는 결론과 함께 본 연구의 의의와 향후 연구 방향을 제시하고자 한다.

## 2. 플랜트 건설 공정 계획

플랜트 건설을 위한 공정 계획이란 전체 플랜트 건설 프로젝트 수행의 초기 단계에서 공사에 대한 개략 정보만을 바탕으로 공정 계획과 개략적 일정계획을 수립하는 것을 말한다. 이러한 초기 플랜트 건설 공정 계획 및 일정 계획은 일반적으로 아래의 <그림 1>에서 볼 수 있는 바와



<그림 1> 초기 플랜트 건설 공정 및 일정 계획 수립 과정

같이 네 단계의 하부 과정을 통하여 이루어지게 되는데, 먼저 초기 플랜트 공사 정보를 수집하고 이어 이에 따른 개념적 플랜트 구성 및 배치 계획을 수립하게 된다. 플랜트 공사 정보와 함께 이와 같은 개념적 플랜트 구성 및 배치 계획을 바탕으로 초기 공정 계획이 수립되게 되며 역시 이를 바탕으로 필요한 자원 및 제약에 대한 가정을 통하여 개략 일정 계획이 다시 수립되게 된다.

대부분의 실제 플랜트 공사의 경우, 이들 일련의 과정이 몇몇 플랜트 공사 전문가들에 의해 이루어지고 있으며 이들은 과거 공사 경험을 바탕으로 플랜트 공사 정보로부터 개념적 플랜트 구성 및 배치 계획을 유추하고 역시 이들 정보와 경험을 바탕으로 공정 계획을 수작업으로 수립하고 있다. 또한 최종적으로 역시 경험을 기반으로 자원과 공사 제약에 대한 정보를 유추하며 이를 단순 수작업을 통하여 일정 계획 시스템에 입력하고 그 초기 일정 계획을 얻게 되는 것이며, <그림 1>은 이러한 초기 공정 및 일정 계획 수립 단계가 진행될 때마다 플랜트 전문가의 어떤 지식들이 필요한지를 도식화하여 보여 주고 있다.

한편 기존의 공정 계획 및 일정 계획 접근 방법들은 이와 같은 초기 플랜트 건설 공정 및 일정 계획 수립에 필요한 플랜트 건설 전문가의 지식과 플랜트 구성 및 배치 계획등을 표현하고 계획에 반영할 수 있는 틀을 갖추지 못하고 있을 뿐만 아니라 공사 정보에서 직접 공정 계획을 도출하는 접근 방법을 채택하고 있음으로써 플랜트와 같이 그 구성 요소와 이들간에 배치가 공정 계획 전반에 심각한 영향을 주는 경우, 그 도출된 계획이 매우 비효율적일 뿐만 아니라 경우에 따라서는 공사 수행이 불가능수도 있는 형편인 것이다.

더욱이 현실의 전문가의 수작업에 의존적인 공정 계획 및 일정 계획은 기업의 입장에서 이들 과정에 필요한 지식(know-how)이나 경험들이 지속적으로 단지 몇몇 전문가들에게만 축적될 뿐 기업의 자산으로서는 축적되지 못한다는 추가적 문제점도 안고 있다.

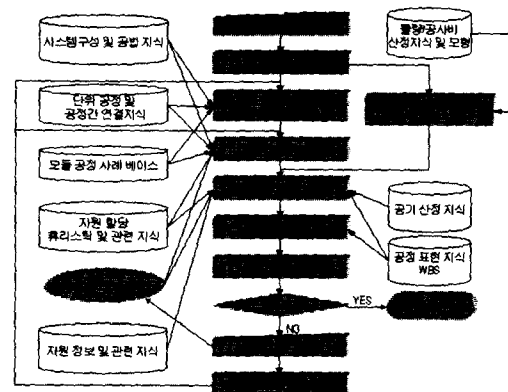
이상의 두 측면 모두 플랜트 건설 공정 계획 및 일정 계획 수립에 있어 <그림 1>과 같은 과정을 적절히 반영하며 동시에 이들 과정에 관련된 지식이나 경험에 대한 표현과 이의 체계적 축적, 그리고 이를 기반으로한 계획 수립의 자동화의 필요성을 보여주고 있으며 따라서 본 연구에서는 먼저 <그림 1>에 나타난 플랜트 구성 및 배치 관련 지식과 공정 계획 지식들 각각에 대한 지식 표현 방법과 이에 대한 추론 기법을 제안함으로써 보다 플랜트 건설에 있어서의 초기 공정 계획 및 일정 계획의 정확성과 신뢰성을 높임과 동시에 앞에서 언급한 문제점들을 극복하고자 한다.

### 3. 지식 기반 플랜트 건설 공정 계획

본 절에서는 이상에서 논의한 플랜트 건설에서의 초기 공정 및 일정 계획의 문제점들을 극복하기 위한 한 체계적 접근 방법으로써 지식 기반 플랜트 건설 공정 및 일정 계획 방법론을 제시하고자 한다. 이를 위해 이하에서는 먼저 방법론의 전체적 구성을 소개하여 이어 필요 지식의 표현 방법과 이들 각각에 대한 추론 방법을 제안하고 마지막으로 이들 지식과 추론 기법을 통한 공정 및 일정 계획의 수립 절차를 제안하고자 한다.

### 3.1 지식 기반 플랜트 건설 공정 및 일정 계획 시스템

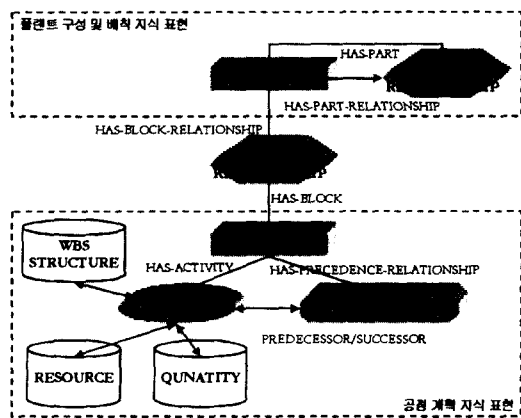
본 연구에서는 플랜트 건설 공정 및 일정 계획을 위해 <그림 1>에서 소개한 바와 같은 실제 플랜트 건설 공정 및 일정 계획의 개념적 과정을 바탕으로 하는 지식 기반 접근 방법을 제안하고자 한다. 따라서 본 지식 기반 접근 방법은 먼저 플랜트 공사 정보로부터 플랜트 구성 및 배치 지식을 토대로 플랜트의 구성과 배치를 결정하는 단계와 이를 바탕으로 다시 공정 계획 지식을 이용하여 공정 계획을 수립하는 단계 그리고 마지막으로 수립된 공정 계획을 바탕으로 하게 된다. 이와 같은 지식 기반 플랜트 건설 공정 계획 접근 방법을 기반으로 한 공정 및 일정 계획 시스템의 구성을 <그림 2>에서 보여주고 있다. 특히 본 연구 과제는 실제 플랜트 건설 문제를 대상으로 한 바 공정 계획 수립 외에도 공사 물량 및 소요 예산 추정과 함께 초기 개략 일정 계획 기능도 지원함으로써 종합적인 플랜트 건설 프로젝트 관리가 가능하도록 설계 개발하였다.



<그림 2> 지식 기반 플랜트 건설 공정 및 일정 계획 시스템 흐름도

### 3.2 지식의 표현 방법 설계

지식 기반 접근 방법을 이용하기 위해서는 무엇보다도 먼저 이용하고자 하는 지식에 대한 표현 방법에 대한 설계가 이루어져야 한다. 먼저 플랜트 건설 공정 계획을 위해 필요한 지식들은 <그림 1>에 나타난 바와 같이 크게 플랜트 구성 및 배치 지식, 공정 지식, 그리고 이들 두 지식을 연결하는 공정 계획 지식으로 나누어 볼 수 있으며, 플랜트 구성 및 배치 지식은 SYSTEM과 SYSTEM RELATIONSHIP 클래스들과 HAS-PART라는 이들 클래스간의 관계 표현을 이용하여 표현하게 된다. 한편 공정 지식은 공정을 구성하는 가장 기본 구성 요소인 ACTIVITY 클래스와 이들 단위 작업간의 선후 관계 표현을 위한 PRECEDENCE-RELATIONSHIP 클래스 그리고 이들을 기반으로 하는 모듈 공정 개념인 BLOCK 클래스로 구성된다. 이들 클래스 간의 관계 역시 <그림 3>에서와 같이 여러 관계 속성에 의해 표현하고 있다.



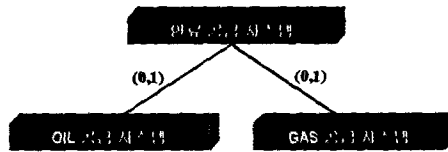
<그림 3> 플랜트 구성 및 배치와 공정 계획 지식의 표현 방법

마지막으로 공정 계획 지식은 플랜트 구성 및 배치 지식과 공정 지식을 연결하는 고리로서 플랜트 구성이나 배치에 따른 공정 지식의 이용을 통제하고 결과적으로 공정 계획을 도출할 수 있는 지식을 의미한다. 이러한 공정 계획 지식은 BLOCK\_RELATIONSHIP 클래스를 이용하여 표현하며 플랜트 구성 및 배치 지식과의 관계는 HAS-BLOCK-RELATIONSHIP 속성으로 공정 지식과의 관계는 HAS-BLOCK을 이용하여 표현하고 있다. 이와 같은 지식 표현 방법은 플랜트 시스템의 구성 및 배치 과정과 공정 계획 과정을 독립적인 단계로서 분리하여 고려할 수 있도록 해줌으로써 플랜트 건설에 있어 공정 계획 과정의 현실을 보다 정확히 반영할 수 있도록 해주고 따라서 보다 정확한 공정 계획 수립을 가능케 한다. 이제 이들 각각의 지식 표현에 대해 좀 더 자세히 아래에서 다루고자 한다.

#### 3.2.1 플랜트 구성 및 배치 지식의 표현

플랜트 구성 및 배치 지식은 먼저 플랜트를 위한 시스템 구성 및 배치 그 자체에 관련된 존재적(ontological) 지식과 플랜트 공사 정보를 바탕으로 플랜트 구성 및 배치를 결정하는 규칙(production rule) 지식으로 나누어지게 된다. 본 연구에서는 이들 지식들을 프레임 기반 표현 방법을 제안하였다. 먼저 지식 표현 대상들은 플랜트를 구성하는 시스템의 정의, 시스템간의 소속 관계(HAS-PART or PART-OF) 및 소속에 있어서의 카디널리티(cardinality), 마지막으로 공사 정보에 따른 소속 시스템의 결정 지식 등이다. 이제 이들 플랜트 구성 및 배치 지식들이 열병합 발전소 플랜트의 한 실제 부분 시스템인 연료 공

급 시스템(fuel supply system)의 예를 통하여 어떻게 표현되는 지를 소개하고자 한다.



<그림 4> 연료 공급 시스템의 구성 및 배치 지식 예

예를 들어 <그림 4>에 나타난 바와 같이 열병합발전소에서의 연료 공급 시스템은 크게 오일(oil)을 연료로 사용하는 OIL 공급 시스템과 개스(gas)를 연료로 하는 GAS 공급 시스템으로 구성된다. 먼저 <그림 4>에서의 연료 공급 시스템과 OIL 공급 시스템간의 연결 선에 표시되어진 (0, 1)은 연료 공급 시스템이 하부 시스템으로서 OIL 공급 시스템을 가질 수도 있고 가지지 않을 수도 있음을 표시하며 나아가 2개 이상의 하부 OIL 공급 시스템을 동시에 가질 수는 없음을 의미하고 있다. 위의 경우 GAS공급 시스템 역시 연료 공급 시스템과 같은 관계를 연료 공급 시스템과 가지고 있다. 이들 지식이 <그림 3>에 나타는 플랜트 구성 및 배치 지식 표현 방법을 이용하여 프레임 기반으로 표현하면 다음과 같은 프레임들로 표현될 수 있다.

```

{{연료공급시스템
  IS-A: SYSTEM_CLASS
  HAS_PART_RELATIONSHIP: 연료공급시스템_PR
  HAS_BLOCK_RELATIONSHIP: 연료공급시스템_BR
}}
  
```

```

{{연료공급시스템_PR
  
```

```

IS-A: PART_RELATIONSHIP_CLASS
HAS_PART: (OIL공급시스템 0 1) (GAS공급시스템 0 1)
CONDITIONAL-ADJUSTMENT:
  ((공사정보 "주연료" "GAS") (INCLUDE GAS공급시스템))
  ((공사정보 "주연료" "OIL") (INCLUDE OIL공급시스템))
  ))
  
```

```

{{OIL공급시스템
  
```

```

IS-A: SYSTEM_CLASS
HAS_PART_RELATIONSHIP:
HAS_BLOCK_RELATIONSHIP: OIL공급시스템_BR
}}
  
```

```

{{GAS공급시스템
  
```

```

IS-A: SYSTEM_CLASS
HAS_PART_RELATIONSHIP:
HAS_BLOCK_RELATIONSHIP: GAS공급시스템_BR
}}
  
```

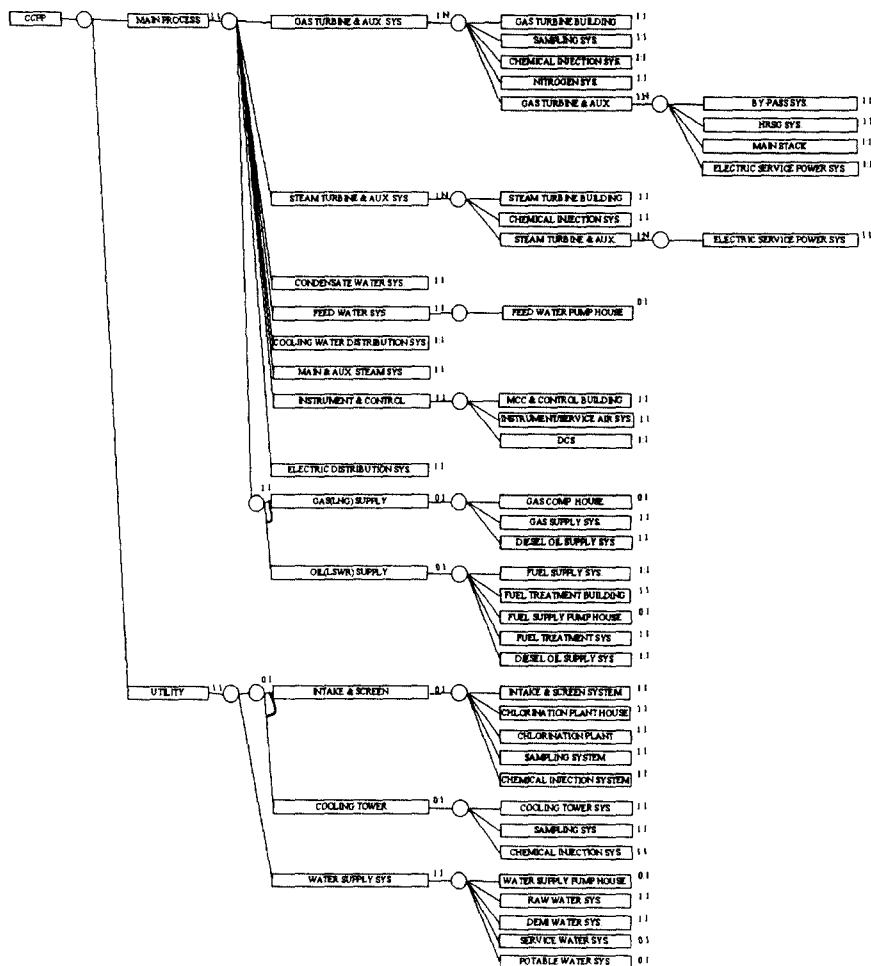
먼저 첫번째 프레임인 연료공급시스템 프레임에 대해 설명하자면 첫 슬롯인 IS-A 슬롯은 이 프레임의 소속 클래스를 표현하고 있으며 여기에서는 SYTEM\_CLASS가 그것이다. 한편 HAS\_PART\_RELATIONSHIP 슬롯은 연료공급시스템의 하부 시스템과의 관계를 표현하는 프레임을 그 값으로 가지게 되며, 위 예에서는 연료공급시스템\_PR 프레임이 그것이다. 또한 HAS\_BLOCK\_RELATIONSHIP 슬롯은 연료공급시스템 건설에 필요한 공정 모듈과의 관계를 표현하는 프레임을 그 값으로 가지게 되며, 역시 예제에서의 그 값은 연료공급시스템\_BR으로 나타나 있다.

이어 두 번째 프레임인 연료공급시스템\_PR은 상위 연료공급시스템과 하부 시스템들인 OIL공급시스템 및 GAS공급시스템간의 관계를 표현하고 있는데, HAS\_PART 슬롯에 이들 간의 관계

가 표현되어 있다. 이 HAS\_PART 슬롯은 복수의 리스트를 그 값으로 가질 수 있으며 각 리스트는 하위시스템명과 최소 및 최대 카디날리티를 표현할 수 있도록 되어 있다. 또한 CONDITIONAL-ADJUSTMENT 슬롯은 다른 공사 정보에 따른 추가적 고려 사항을 프로덕션을 개념으로 표현할 수 있게 되어 있는데, 이 역시 복수의 리스트들을 값으로 가질 수 있으며

각 리스트들은 다시 두개의 리스트로 구성되는데 첫번째 리스트는 조건절에 그리고 두번째 리스트는 결과절 또는 액션(action)절에 해당된다. 위의 예를 해석해보면 공사정보 프레임에 주연료 슬롯이 GAS이면 GAS공급시스템을 포함시키고 OIL이면 OIL공급시스템을 포함시키라는 규칙을 표현하고 있는 것이다.

이외의 두 프레임들은 각기 OIL공급시스템과



<그림 5> 열병합발전소 건설을 위한 시스템 구성 및 배치 지식도

GAS 공급시스템에 대한 정의와 이들 프레임의 공정과의 관계 지식을 표현하는 프레임들에 대한 정보를 표현하고 있다. 실제 열병합 발전소 건설을 위해 필요한 플랜트 구성 및 배치 지식을 이상에서와 같은 방법으로 표현한 예가 <그림 5>에 나타나 있다. <그림 5>에는 오로지 시스템 정의와 시스템간 상하위 관계 및 카디날리티 정보만이 나타나 있다.

### 3.2.2 공정 지식의 표현

플랜트 건설을 수행하기 위한 공정 지식은 먼저 공정의 기본 단위인 요소 작업(activity)을 먼저 프레임을 이용하여 정의하고, 이들 요소 작업들이 모여 보다 상위의 공정을 형성하게 되는데 이와 같은 부분 공정들을 블록(block) 클래스로 지칭하고 이를 역시 프레임 형식으로 표현하였다. 특히 부분 공정 지식인 블록 클래스는 소속된 요소 작업들간의 선후행 관계 프레임 정보 역시 관리하게 된다. 먼저 아래의 예에는 터파기작업과 콘크리트작업들이 요소 작업으로 정의되어 있으며, 한편으로는 기초공사 공정이 이들 두 요소 작업을 필요로 하고 있음을 보여주고 있다. 특히 기초공사 공정에서는 터파기 작업이 콘크리트 작업에 선행되며 이들 간의 선후행 관계는 (FS, 0)유형임을 나타내고 있다. 다시 말해서 터파기 작업이 완료되자마자 콘크리트 작업을 수행할 수 있다는 것을 말하고 있다.

```
{{터파기작업
```

```
IS-A: ACTIVITY_CLASS
WBS: IE
}}
```

```
{{콘크리트작업
```

```
IS-A: ACTIVITY_CLASS
WBS: IE
}}
{{기초공사
IS-A: BLOCK_CLASS
HAS_ACTIVITY: 터파기작업 콘크리트작업
HAS_PRECEDENCE_RELATIONSHIP: 선후행관계001
}}
```

```
{{선후행관계001
```

```
IS-A: PRECEDENCE_RELATIONSHIP_CLASS
Relation-Type: FS
Relation-Value: 0
Predecessor: 터파기작업
Successor: 콘크리트작업
}}
```

특기한 것은 요소 작업간의 선후행 관계 지식은 다시 그 선후행 관계의 특성에 따라 선후행 관계 지식의 형태를 고정 선후행 관계 지식, 조건적 선후행 관계 선택 지식(조건 검사), 선후행 관계 생성 지식(matching and generating)의 세 가지 구분 표현하고 관리하고 있으며, 위의 예에서는 이들 중 가장 일반적인 고정 선후행 관계 지식을 보여주고 있다.

### 3.2.3 플랜트 구성 및 배치 지식과 공정 지식의 연계 지식(공정 계획 지식) 표현

한편 실제로 플랜트의 공사 정보 및 구성에 따라 공정을 구성하기 위해서는 이상에서 논의한 플랜트 구성 및 배치 지식과 플랜트 공사를 위한 공정 지식을 연결해 주는 연계 지식이 필요하다. 우리는 이를 공정 계획 지식이라 구분하고 BLOCK\_RELATIONSHIP\_CLASS의 프레임으로 표현하고 있다.



다음은 앞에서의 연료공급시스템의 경우, 이 시스템 공사에 필요한 부분 공정들에 관련된 지식을 표현하고 있는 것이다. 실제로 아래의 예에서는 연료공급시스템의 경우, 이를 건설하기 위해서는 기초공사, 연료공급장치설치, 절연시설설치 및 파이프공사 등이 필요하다는 것을 나타내고 있다.

```

((연료공급시스템_BR
  IS-A: BLOCK_RELATIONSHIP_CLASS
  HAS_BLOCK: 기초공사_BLK, FUEL_SUPPLY_EQUP_BLK,
             INSULATION_BLK, PIPE_BLK
  CONDITIONAL-ADJUSTMENT:
))
    
```

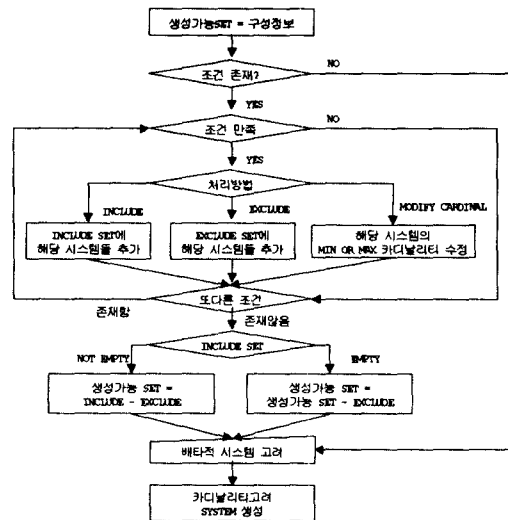
### 3.3 플랜트 공정 계획 추론 방법

이제 본 절에서는 앞 절에서 다른 지식 표현 방법들을 기반으로 표현된 지식들을 공사 정보를 바탕으로 추론하여 플랜트 건설 공정 계획을 제시할 수 있는 추론 방법론을 제안하고자 한다. 이미 본 연구는 공사 정보로부터 공정 계획에의 유도 과정을 플랜트 구성 및 배치 결정과 이에 따른 공정 계획 결정의 두 단계로 분리하여 다루고 있음으로 이에 대한 추론 절차도 이에 따라 플랜트 구성 및 배치 추론 알고리즘과 건설 공정 계획 추론 알고리즘으로 분리하여 제안하고 있다.

#### 3.3.1 플랜트 구성 및 배치 추론 알고리즘

먼저 다음의 <그림 6>은 공사 정보와 플랜트 건설 전문가의 개념적 플랜트 구성 설계 정보를 바탕으로 플랜트의 시스템 구성과 이의 배치에 대한 추론을 수행하는 알고리즘을 도식화하여 보여주고 있다. 특히 이 알고리즘은 앞에서 제시한

플랜트 구성 및 배치 지식 중 조건적 구성 조정 지식(CONDITIONAL-ADJUSTMENT)과 상호 배타성(EXCLUSIVENESS) 존재 유무 등을 탐색을 통해 검색하면서 최종적 플랜트 구성 시스템을 생성하게 된다.

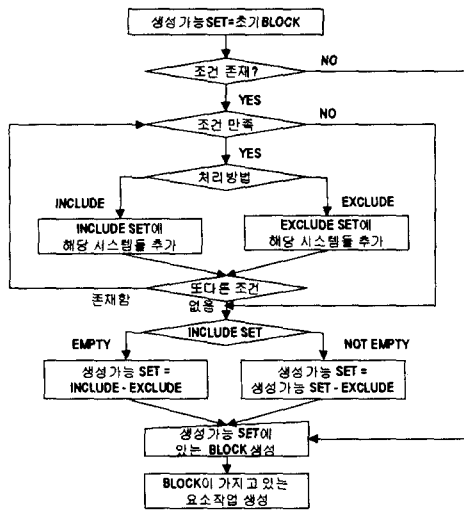


<그림 6> 플랜트 구성 및 배치 추론 알고리즘

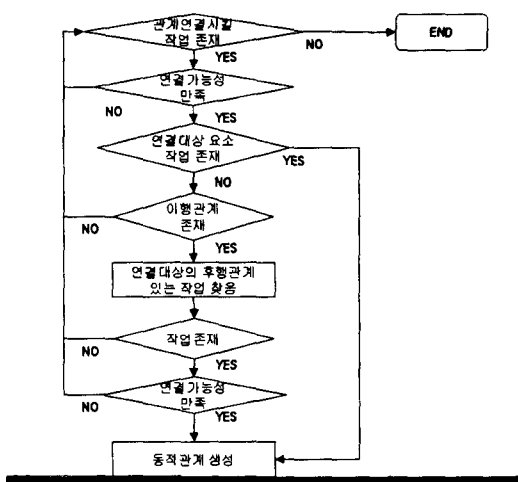
#### 3.3.2 건설 공정 계획 추론 알고리즘

플랜트 구성 및 배치 추론 알고리즘에 의해 결정된 플랜트 구성 및 배치 정보와 기초 공사 정보를 바탕으로 이제 건설에 필요한 공정 계획을 수립하는 건설 공정 계획 추론 방법론을 설명하고자 한다. 건설 공정 계획 추론 방법론은 크게 두 단계로 구분 수행되는데, 먼저 필요 단위 공정들과 요소 작업들이 추론 결정되고, 이어 이들 단위 공정에 속한 요소 작업들간의 선후행 관계가 역시 추론을 통해 결정되어 최종적인 건설 공정 계획을 완성되게 된다. 먼저 아래의 <그림 7>은 필요 단위 공정과 이에 따른 요소 작업 추

론 알고리즘을 도식화하여 보여 주고 있으며, 다음의 <그림 8>은 생성된 요소 작업들에 대한 선후행 관계 추론 알고리즘을 역시 도식화하여 보여주고 있다.



<그림 7> 단위 공정 및 필요 요소 작업 추론 알고리즘



<그림 8> 필요 선후행 관계 추론 알고리즘

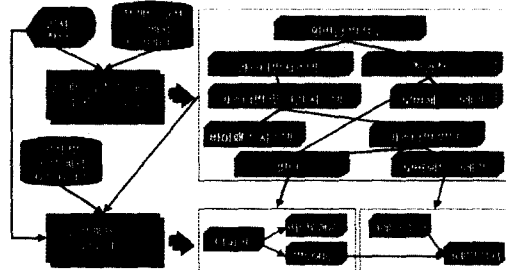
<그림 8>에 나타난 필요 선후행 관계 추론 알고리즘은 앞서의 단위 공정 및 필요 요소 작업 추론 알고리즘에 의해 생성된 단위 공정과 이에 따른 요소 작업들을 바탕으로 요소 작업들 간에 정의되어야 하는 선후행 관계들을 동적으로 추론 연결 시키게 된다. 요소 작업간의 선후행 관계는 그 연결 가능성 여부를 먼저 매칭하고, 이어 후행 요소 작업의 존재를 확인하며, 대상 후행 요소 작업이 존재하지 않는 경우에도 연결 탐사 대상의 후행 관계에 있는 요소 작업들에 대한 연결을 시도하기도 한다. 이 경우는 해당 선후행 관계 지식이 이행 가능 지식인지를 먼저 확인하여 이를 적용시키게 된다. 또한 시스템에 관련하여 지식의 적용 범위가 다양하게 달라질 수 있으며 이에 대한 통제를 위해 다음과 같은 두 가지 추가적인 형태의 관계에 대한 선후행 관계 추론을 수행하게 된다.

**참조시스템(reference system):** 만약 해당 선후행 관계 지식에 참조 시스템이 적용되어 있을 경우에는 선후행 작업들이 모두 참조시스템의 범위 안에서만 정의되어 있을 경우 이 지식을 적용하여 선후행 관계를 추론 생성하게 된다.

**선행 시스템과 후행 시스템 제약:** 선후행 관계 지식에 선후행 관계가 적용되는 시스템을 명시적으로 지정할 수 있도록 허용하고 있으며, 이와 같은 선행 및 후행 시스템이 명시적으로 정의된 경우에는 선행 작업과 후행 작업이 각각 선행 시스템과 후행 시스템에 속한 경우에만 선후행 관계를 추론 생성시키게 되며, 앞에서 소개한 참조시스템 제약을 동시에 갖는 경우에는 참조시스템 제약이 우선 적용되게 된다.

이상의 플랜트 구성 및 배치 추론과 플랜트 공

정 계획 추론 과정을 통해 우리는 특정 플랜트의 공사 정보에 따라 이 플랜트 공사에 필요한 모든 요소 작업과 이에 대한 공정 계획을 수립할 수 있게 된다. 다음의 <그림 9>에서는 열병합발전소의 예를 이용하여 개념적으로 이 과정이 어떻게 수행되는지를 보여주고 있다. 먼저 플랜트 구성 및 배치 추론 알고리즘은 공사정보와 플랜트 구성 및 배치 지식베이스를 이용하여 플랜트 시스템의 구성을 추론하고 이와 같은 플랜트 시스템의 구성 정보와 공정 및 공정 계획 지식베이스 그리고 공사 정보를 이용하여 필요 요소 작업과 이들의 선후행 관계를 생성시킴으로서 공정 계획을 완수하게 되는 것이다.



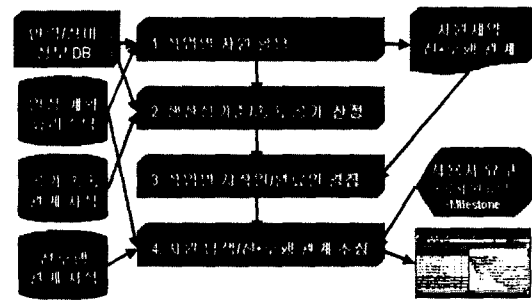
<그림 9> 플랜트 공정 계획 추론 과정 예

### 3.3.3 개략 일정 계획 및 일정 계획 조정 기능

본 연구에서는 이상의 플랜트 건설 공정 계획 이외에도 보다 현실적인 플랜트 건설 프로젝트 관리 지원을 위해 이상에서 수립된 공정 계획을 바탕으로 개략적 초기 일정 계획과 공기의 최소화 및 요구 완료일 및 Milestone 등의 조건에 따라 일정 계획 조정을 지원할 수 있는 기능을 추가하여 지원하고 있다.

<그림 10>은 이와 같은 개략 일정 계획 및 일정 계획 조정 기능의 과정을 그림으로 보여주고

있는데 먼저 공정 계획이 완료된 이후, 인력 및 장비 데이터베이스와 일정 계획 휴리스틱을 이용하여 자원으로 인해 발생하는 선후행 제약들을 추가적으로 공정 계획에 반영하게 된다. 이어 생산성 데이터와 공기 산정 모듈을 통하여 개별 작업의 공기 및 전체 건설 공기 역시 산정하게 된다. 이로서 초기 일정 계획이 도출되게 되는데 이 결과를 바탕으로 일정 계획 담당자가 자원이거나 기타 가능한 요소의 조정을 통해 반복적으로 개략 일정 계획을 조정하고 최적화해나갈 수 있게 되는 것이다.



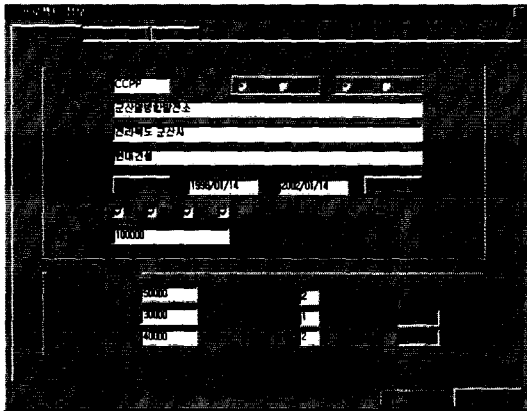
<그림 10> 개략적 초기 일정 계획 및 조정 과정

## 4. 시스템의 구현 및 성과 분석

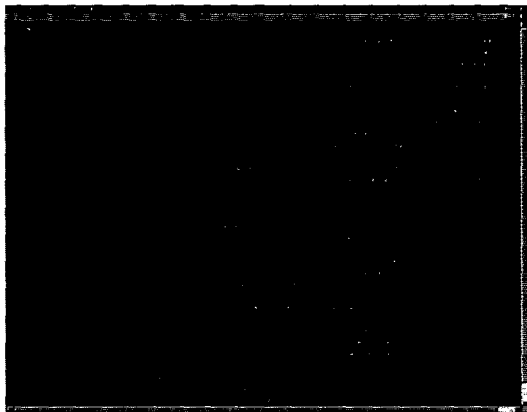
이상에서 다룬 지식 기반 플랜트 건설 공정 계획 방법론은 C++와 전문가 시스템 개발 도구인 UNIK(이재규 외, 1996)를 바탕으로 실제 시스템으로 구현되었으며 또한 국내 굴지의 건설 회사에서 실제 플랜트 공사 관리를 목적으로 사용되어 그 성과가 경험적으로 입증되었다. 본 시스템은 크게 열병합발전소 및 하수처리장 플랜트 건설 공정 계획에 적용되었으며, 이를 위해 열병합발전소와 하수처리장을 위한 지식베이스 역시 건

설회사의 지원하에 구축 이용되고 있다. 이하에서는 본 시스템을 이용하여 실제 열병합발전소 건설을 위한 공정 계획 및 개략 일정 계획이 어떻게 이루어지는지를 주요 화면을 통하여 단계적으로 설명하고자 한다.

먼저 다음의 <그림 11>은 본 시스템을 이용하여 열병합발전소 건설을 위한 초기 공사 정보를 입력하는 화면을 보여주고 있으며, 이어 <그림



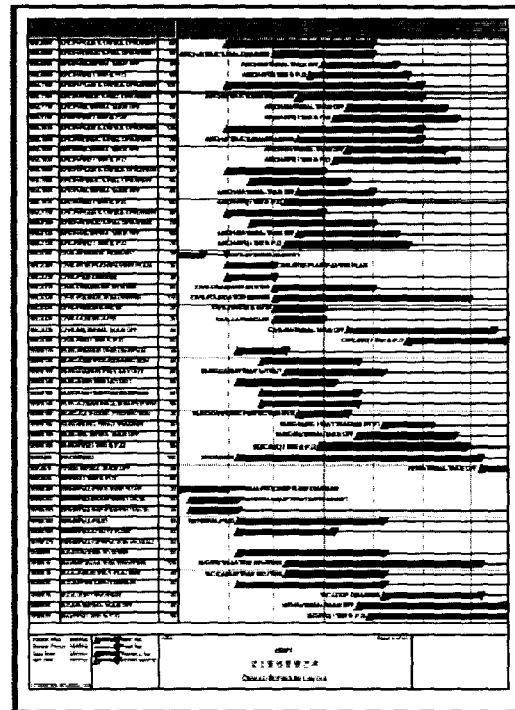
<그림 11> 열병합발전소 건설을 위한 공사 정보 입력 화면



<그림 12> 열병합발전소의 구성 및 배치 추론 화면

12>는 이와 같은 공사 정보를 바탕으로 추론된 열병합발전소의 구성 및 배치 결과를 사용자에게 화면 상으로 제시해주고 있다. 특히 <그림 12>와 같은 화면에서 사용자는 시스템에서 지원하는 사용자 인터페이스를 통하여 추론된 결과에 대한 조정이나 추가적인 시스템을 배치하거나 제외시킬 수도 있게 된다.

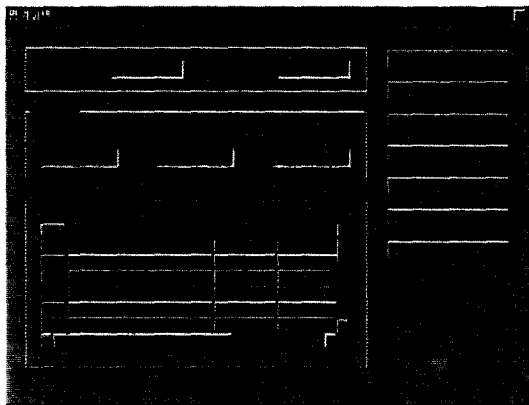
한편 <그림 13>은 플랜트 구성과 배치 결과 및 공사 정보를 바탕으로 본 시스템에 의해 추론된 공정 계획 및 개략 일정 계획 결과를 도시하고 있다. 실제 현장에서는 <그림 13>과 같은 결과를 얻기 위해서는 다수의 전문가들이 수작업으로 최소 2-3일의 작업을 수행하여야 하였으며 그 작업 결과의 일관성이나 정확성에도 문제점들이



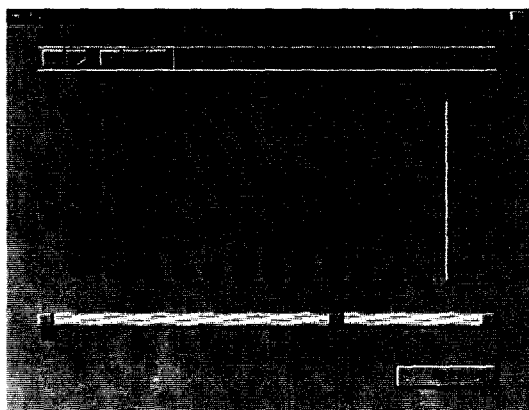
<그림 13> 열병합발전소 건설 공정 계획 및 개략 일정 계획 결과 화면

제기되어 왔다. 하지만 본 시스템을 기반으로 간단한 공사 정보를 바탕으로 <그림 13>과 같이 즉시 활용가능한 플랜트 건설 공정 계획을 수분 내에 얻을 있다는 점 자체가 일단 본 시스템의 타당성을 보여주고 있는 것이다.

이와 더불어 본 시스템에서는 <그림 14>에서 볼 수 있는 바와 같이 도출된 개략 일정 계획 결과에 대해 자원 분석, CP(critical path)분석 등과 같은 다양한 평가 기능의 제공 외에도공사 완료일, 마일스톤 등의 관점에서 일정 계획의 재조정



<그림 14> 개략 일정 계획 평가 및 조정 화면



<그림 15> 투입 물량 사용 계획 화면

도 가능하도록 지원하고 있다. 특히 <그림 15>는 자원 분석 기능 중 물량 계획에 대한 분석 및 검토를 할 수 있도록 해주는 본 시스템의 화면 중 한 예를 보여주고 있다.

이와 같은 플랜트 건설 공사에 있어 기초 공사 정보만을 이용하여 초기 단계의 공정 계획과 개략 일정 계획을 수립할 수 있고 또한 여러 가지 상황에 따라 공정 및 일정 계획의 가능성을 확인해 볼 수 있는 자동화 시스템은 궁극적으로 실제 플랜트 건설 공사를 성공적으로 관리하는데 있어 많은 기여를 하게 된다.

## 5. 결 론

우리는 플랜트 건설 사업에 있어 공사 정보를 기반으로 하는 초기 공정 계획에서의 어려움을 살펴보고 이에 대한 대안으로서 지식 기반 플랜트 공정 계획 방법론을 제안하였다. 이와 같은 지식 기반 플랜트 공정 계획 및 개략 일정 계획 방법론 연구 및 시스템 구현의 의의를 다음과 같은 네 가지로 찾아보고자 한다.

첫째, 플랜트 건설에서의 특성에 따른 플랜트 구성 및 배치 관련 지식의 표현 방법 설계 및 추론 기법 개발이 그 하나이며, 둘째로 공정 계획 지식에 있어서도 기존의 연구들에 비해 그 표현력을 향상시킴으로써 보다 정확한 공정 계획을 가능케 하였으며, 셋째, 이들 두 표현 방법론을 바탕으로 공정 계획을 수립할 수 있는 통합 추론 방법론을 개발하였다. 마지막으로 이러한 통합 방법론을 시스템으로 구현하고 이를 국내 굴지의 건설 업체의 실제 문제에 적용함으로써 그 성과를 경험적으로 입증하였다.

한편, 이러한 성과를 바탕으로 기대되는 기대

효과로는 먼저 몇몇 전문가에 의해 이루어지던 플랜트 분야에서의 공정 계획 업무를 비전문가를 통해서도 부분적으로 수행 가능하게 되었으며, 무엇보다도 이러한 특수한 공정 계획 지식이 향후 기업에 있어서 체계적 축적이 가능하게 되어 지식 경영의 관점에서 기여하고 있다. 작게는 이렇게 축적된 지식에 대한 초보적 공정 계획자의 교육목적에도 이용될 수 있으며, 가장 중요하게 평가할 수 있는 기여는 플랜트 공정 계획 과정의 시간적 단축과 용이성으로 인해 건설 공사 자체가 갖는 많은 불확실성에 대한 포괄적 고려를 공정 계획 시점에서 다양한 대안을 접근해 봄으로써 가능케 했다는 점이다. 이는 나아가 건설업체에 있어서 보다 정확한 입찰 대응 전략을 구사할 수 있도록 하며 보다 빠른 환경 변화에 대한 대처 능력도 제공하게 되는 것이다.

마지막으로 향후 본 연구의 결과는 현재 이미 적용된 열병합발전소와 하수처리장 플랜트 도메인을 넘어 보다 광범위한 적용을 통해 그 일반적 성과를 검증해야 될 것으로 기대하며, 일정 계획의 성과 측면에서도 추가적 연구가 진행되고 있으며, 이들 두 방향이 본 연구의 향후 연구 과제로서 인식하고 있다.

## 참고문헌

- Clough, Rechar H. and Glenn A. Sears, *Construction Project Management*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1991.
- Hendrickson, C., et al., "Expert System for Construction Planning", *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol 1, No. 4(1987), 253~269.
- Kartam, Nabil A., et al., "Extending Artificial Intelligence Techniques for Hierarchical Planning", *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 5, No. 4(1991), 464~477.
- Kartam, Nabil A. and Raymond E. L., "Intelligent Planning of Construction Projects", *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 4, No. 2(1990), 155~176.
- Levitt, R. E., et al., "Artificial Intelligence Techniques for Generating Construction Project Plan", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 114, No.3(1988), pp. 329-343.
- M., Aynam A. and Yvan J. Beliveau, "Knowledge Based Planning System", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 117, No. 1(1991), 1~12.
- Navinchandra, D., et al., "GHOST: Project Network Generator", *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 2, No. 3(1988), 239~254.
- Shaked, Ory and Abraham Warszawski, "Knowledge Based System for Construction Planning of Highrise Buildings", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 121, No. 2(1995), 172~182.
- 이재규, 송용욱, 권순범, 김우주, 김민용, UNIK을 이용한 전문가시스템의 개발, 법영사, 1996.

Abstract

## A Knowledge-based Approach to Plant Construction Process Planning

Wooju Kim\*

Plant construction projects usually take much higher uncertainty and risks than the projects from other domains. This implies the importance of plant construction project management should be more emphasized than the other domain. Especially, the overall successes of the projects often depend on the performance of process planning and scheduling performed at the initial stage of the project. However, most plant construction projects suffer great difficulties in establishing proper process planning and scheduling timely because of unstructureness and dynamicity of environment of the project itself. In this paper, we propose a knowledge-based process planning and scheduling approach in a plant construction domain to cope this problem. First, we modulate process planning knowledge and present the knowledge representation scheme. Second, we propose an inferencing mechanism to build a process planning for plant construction based on the represented process planning knowledge. Since our approach automate the initial process planning, which was usually done by manual way, it can improve the correctness and also completeness of the process plan and schedule by reducing the time to plan and allowing simulations on the various situation. We also design and implement this our approach as a real working system, and it is successfully applied to real plant construction cases from a leading construction company in Korea. Based on this success, we expect our approach can be easily applied to the projects of other areas, while contributing to enhancement in productivity and quality of project management.

---

\* Dept. of Industrial Engineering College, ChonBuk National University