

UNIK-OPT 를 이용한 지식과 최적화 모형의 관리: 정유산업사례

김 민용* · 이 재규**

* 한국과학기술원 경영과학과

** 한국과학기술원 서울분원 경영정보공학과

ABSTRACT

This paper describes the management of knowledge base and optimization models using knowledge-assisted optimization model formulation system UNIK-OPT (UNified Knowledge-OPTimization). We will illustrate UNIK-OPT with the case of production scheduling in refinery.

I. UNIK-OPT 의 설계원리

UNIK-OPT [1] 는 최적화 모형의 모형화 과정을 지원하기 위해서 개발되었다. 중요한 설계원리는 다음과 같다.

1. 비전문적 사용자 지원

최적화 모형의 많은 잠재적 사용자들은 모형생성에 요구되는 지식을 갖고있지 않은 경우가 많다. UNIK-OPT 는 이런 사용자들이 쉽게 모형을 생성할 수 있도록 모형화 과정을 지원하기 위해서 개발되었다.

2. 응용분야 독립성

UNIK-OPT 는 응용분야와는 독립적으로 사용가능하다. 모형화 과정에서 응용분야 지식과 모형화 구조 지식의 사용을 분리함으로써 모형화 구조 지식과 추론과정이 다른 분야에도 적용가능하게 한다.

3. 지식베이스와 다수의 최적화 모형의 독립적 관리.

UNIK-OPT 는 공통의 지식베이스로 부터 사용자의 문제정의에 맞게 다수의 최적화 모형을 생성한다. 따라서 공통의 지식베이스에 변화가 발생하면 이미 생성된 다수의 관련 모형들이 일치성을 유지하면서 변화해야 한다. 독립성은 특정 모형에 관련된 지식이 공통의 지식베이스를 논리적으로 가리키게 함으로써 구현되었다.

II. UNIK-OPT 의 소프트웨어적 특성

UNIK-OPT 시스템은 공통의 지식베이스로부터 다수의 최적화 모형을 생성하고 관리하는 범용도구이다. 이 시스템의 특성은 다음과 같다.

1. 프레임방식의 지식표현

UNIK-OPT 는 프레임기반 지식관리 도구인 UNIK-FRAME 으로 지식을 표현한다. 프레임은 관계슬롯을 통해서 계층구조를 이루며, 이러한 계층구조는 모형화의 추상화 수준을 지원하는데 매우 유효하다.

2. 지식베이스의 일치성확인

UNIK-OPT 는 지식베이스에 정의되어 있는 인덱스와 애트리뷰트 (결정변수 또는 상수), 애트리뷰트 와 항 (Blocks of Terms : BOT), 항과 제약식간의 연관성에 대한 일치성을 확인한다. 일치성을 확인한 결과 중복된 요소는 자동적으로 제거되고 부족한 요소는 사용자로부터 그 요소에 대한 상세한 정보를 요구하여 보강한다.

3. 의미론적 수준의 사용자 인터페이스

비전문적 사용자를 지원하기 위해서는 모형화에 관련된 수리적 용어를 사용하지 않고 의미론적 수준의 대화를 통해서 모형을 생성해야 한다. 사용자 인터페이스는 메뉴화면으로 구현하였다. 의미론적 문제정의로 부터 수리적 모형을 생성하는 것은 UNIK-OPT 의 중요한 특성중에 하나이다.

4. 모형화 과정에서의 애매성 제거

의미론적 수준에서 생성한 모형에는 제거해야 할 애매성 (Ambiguity) 이 포함되는 경우

가 발생한다. 예를 들어서, “생산량과 재고및 판매량은 반드시 균형을 이루어야 한다” 는 의미론적 제약식은 이 제약식을 정의하는 인덱스 - 관련 제품이나 계획기간등 - 에 대한 애매성이 존재한다. UNIK-OPT 는 응용분야 지식을 이용하여 여러개의 인덱스집합을 생성하고 사용자가 이 중에 하나를 선택하게 하여 애매성을 제거한다.

5. 지식베이스와 생성된 모형의 그래픽한 조감

사용자의 이해를 돕기 위해서 지식베이스의 구조와 응용분야 지식을 구성하는 프레임간의 관계를 그래픽하게 보여준다. 또한 모형의 생성과정을 단계별로 의미론적 수준과 표기적 수준으로 보여준다.

III. 정유산업의 모형화지식

UNIK-OPT 는 정유공장을 통합적으로 계획하고 통제하기 위해서 최적화 모형과 지식형 시스템이 이용된 UNIK-R (Refinery) 프로젝트 [3] 에 응용되었다. UNIK-OPT 는 일별 제품 배합과 원간 원유구매와 같은 문제를 해결하기 위한 최적화 모형을 생성한다. 연구의 출발점으로 최적화 모형을 선형계획 모형에 국한해서 설명하기로 한다.

공통의 지식베이스는 모형화 구조 지식과 응용분야 지식으로 구성되어 있다.

1. 모형화 구조 지식

선형계획 모형을 위한 모형화 구조 지식베이스의 구조는 그림 1 과 같다.

그림 1. 모형화 지식베이스의 구조

이 구조의 최상위에는 목적함수, 인덱스와 무관한 (index-free) 제약식이 있다. 목적함수는 인덱스와 무관한 항 (BOT) 으로 구성되어 있고, 인덱스와 무관한 제약식은 인덱스와 무관한 항과 연산자 (\leq , \geq , 또는 $=$) 로 구성된다. 항은 “동일한 합산기호 (Σ) 를 공유하는 요소들의 집합” 으로 정의된다. 따라서 동일한 항내의 요소는 같은 종류의 결정변수와 상수를 가져야 한다. 결정변수와 상수는 연결가능한 인덱스를 갖는다.

2. 제약식 네트워크 (Constraints Network)

애트리뷰트, 인덱스와 무관한 항 및 제약식간의 관계를 효율적으로 표현하기 위해서 제

약식 네트워크를 사용하였다. 제약식 네트워크 예제가 그림 2 에 나타나 있다.

그림 2. 제약식 네트워크 예제

그림 2 에서 원은 애트리뷰트를 타원은 항을 나타낸다. 화살표는 제약식과 항 사이의 연관성을 나타내며 화살표 위의 '+' 또는 '-' 는 항의 부호를 표시한다. 제약식의 연산자는 로 나타낸다. 제약식은 여러 항을 LHS 또는 RHS 로 사용하여 만들어 진다. 제약식에는 원유사용 균형식, 제품배합 균형식, 제품생산판매 균형식 등이 표현되어 있다. 예를 들어서 제품생산판매 균형식을 프레임으로 표현하면 다음과 같다.

```
{{ PRODUCTION_SALES_BALANCE
  is_a : CONSTRAINT
  operator : EQ
  LHS : (+ PRODUCTION_AMOUNT_BOT)
        (+ (t-1 INVENTORY_BOT))
  RHS : (+ SALES_VOLUME_BOT)
        (+ INVENTORY_BOT) }}

{{ PRODUCTION_AMOUNT_BOT
  is_a : BOT
  coefficient : 1
  decision : PRODUCTION_AMOUNT }}

{{ PRODUCTION_AMOUNT
  is_a : ATTRIBUTE
  symbol : X
  linkable_index : PRODUCT FACILITY TIME_UNIT }}
```

3. 응용분야 지식

정유산업 응용분야 지식에는 원유 (Crude Oil), 유분 (Downstream), 최종제품 및 공정이 포함되는데, 이들은 주로 최적화모형의 인덱스로 사용된다. 원유는 생산지역에 따라서 고유한 이름이 부여되고, 잔사유 (Reduced Crude) 에 포함된 유황함량에 따라서 고유황 또는 저유황으로 분류한다. 일반적으로 원유는 처리탱크에서 혼합되고, 혼합된 원유를 상압증류 시설 (Crude Distillation Unit) 에서 가열하면 비등점의 차이에 의하여 여러 유분을 얻을 수 있다. 이들 유분들은 불순물을 제거하여 품질을 높이기 위해서 2차처리시설을 거친다. 디젤, 방카시등의 최종제품을 생산하기 위해서 배합공정에서는 이들 유분을 적당한 비율로

배합한다. 각 제품별로 배합가능한 유분의 집합이 있고 품질의 상한값 또는 하한값이 있다. Off-Spec 이 된 제품은 판매가 불가능하고, 반대로 기준을 초과하는 제품에는 품질손실 (Quality-giveaway) 이 발생한다. 그림 3 은 이상의 과정을 도식적으로 표현한 것이다.

그림 3. 정유공장의 운영과정

IV. 모형생성과정

UNIK-OPT 는 모형화 전문가와 지식공학자에 의해서 구축된 공통 지식베이스를 이용하여 사용자와의 의미론적 대화를 통해서 모형 생성과정을 지원한다. 모형생성과정은 다음의 10단계로 이루어 진다.

단계 1 : 인덱스를 선정한다.

UNIK-OPT 는 인덱스로 정의된 원유, 유분, 최종제품및 공정에 관한 응용분야 지식을 메뉴화면으로 보여주고, 사용자는 관심있는 인덱스들을 선정한다.

단계 2 : 연결가능한 애트리뷰트를 보여준다.

단계 1 에서 선택된 인덱스에 대해서, 지식공학자에 의해서 사전에 정의된 연결가능한 애트리뷰트를 보여준다. 예를 들어서 원유 인덱스에 대해서는 “원유 구매량”, “원유 처리량”, “원유 재고” 등의 애트리뷰트가 연결 가능하다.

단계 3 : 애트리뷰트와 인덱스를 결합한다.

단계 2 의 연결가능한 애트리뷰트와 인덱스의 모든 가능한 조합을 생성한다. 일반적으로 하나의 애트리뷰트에는 여러개의 인덱스집합이 결합될 수 있으므로, 인덱스된 애트리뷰트에는 애매성이 발생한다. 이런 애매성은 사용자가 결정변수를 선택함으로써 제거된다.

단계 4 : 데이터 획득가능성을 확인한다.

인덱스된 애트리뷰트는 데이터의 획득가능성에 의해서 결정변수와 상수로 그 역할이 구분된다. 데이터의 획득가능성은 데이터 사전을 통해서 확인된다. 데이터의 획득가능성에 관계없이 사용자가 애트리뷰트의 역할을 결정할 수 있도록 이 과정은 반자동으로 운영될 수

있다.

단계 5 : 결정변수를 선정한다.

단계 4 에서 역할이 결정변수가 된 애트리뷰트중에서 사용자가 모형에 포함시키고자 하는 것들을 선정한다. 이 과정에서 결정변수에 대한 애매성이 제거된다. 만약에 사용자가 선정된 결정변수와 함께 고려되어야 하는 다른 결정변수를 선정하지 않더라도 제약식을 선정하는 단계 - 단계 8 - 에서 이들 결정변수가 자동적으로 모형에 추가된다.

단계 6 : 항을 만든다.

의미있는 항을 구성하기 위해서, 선정된 결정변수가 포함되어 있는 항 프레임의 정보를 이용한다. 이렇게 구성된 항들은 모형생성을 위한 출발점에 불과한데 그 이유는 모든 항들이 최종 모형에 포함되지 않는 상황이 발생하기 때문이다.

단계 7 : 관련된 제약식을 유도한다.

후보 항들은 그림 2 의 제약식 네트워크를 따라가면서 관련된 제약식들을 유도한다. 이 때에 모형의 상황에 맞지 않는 제약식은 자동적으로 제거된다. 제약식유도의 과정은 관련 항이 상수 항에 도달하거나 또는 네트워크를 모두 탐색하게 되면 멈추게 된다.

단계 8 : 목적함수와 제약식을 선정한다.

단계 6 의 항중에서 하나 이상의 항을 선정하여 목적함수를 만든다. 목적함수 항에 의해서 지시되고 있는 제약식은 모형에서 제거된다. 사용자는 관련된 제약식중에서 자신의 목적에 맞는 제약식을 선정한다. 제약식 선정에 의해서 항이 추가 또는 삭제될 수 있으며, 추가된 항에 대해서 사용자가 실수로 선정하지 않은 결정변수나 상수가 존재하면 이를 자동적으로 모형에 포함시킨다.

단계 9 : 인덱스 생성시의 애매성을 제거한다.

이상의 단계를 거쳐서 생성된 모형에는 아직 각 항의 합산기호에 대한 인덱스와 제약식 단위 인덱스가 결정되지 않았다. UNIK-OPT 는 인덱스의 애매성을 제거하기 위해서 사용자에게 최소한의 질문을 요구하는 대화를 생성한다. 즉 각 제약식에 대해서 단위 인덱스를 사용자가 결정하도록하고 이로부터 해당 제약식을 구성하는 항의 합산기호 인덱스를 유도한다.

이 단계에서 생성된 모형은 의미론적 수준이며 데이터 및 알고리즘과는 독립적이다.

단계 10 : 데이터를 갖는 목적함수와 제약식을 생성한다.

인덱스의 애매성을 제거한 다음에 UNIK-OPT 는 데이터를 갖는 개별식을 생성할 수 있다. 모형에 데이터를 제공하기 위해서 인덱스된 애트리뷰트로부터 데이터베이스 검색 문장을 생성한다. 생성된 모형의 해를 구하기 위해서는 특정 Solver 에서 요구하는 입력형태에 맞게 개별식을 생성해야 한다. 현재 UNIK-OPT 는 Solver 로 MINOS 를 사용하고 있으며, MPSX 형태로 개별식을 생성한다.

V. 모형관리상의 도움

정유산업의 경우에 100개 이하의 제약식을 갖는 최적제품배합 문제에서도 고려해야할 공정 및 운전모드 선택에 따라서 모형이 자주로 변화한다. 또한 혼합된 원유의 성상은 매일의 저장탱크 및 처리탱크의 운영에 따라서 변화하는데 이는 최적화 모형에서 데이터가 변화됨을 의미한다. 개별 원유는 90개 이상의 성상을 갖고 있으며, 데이터베이스의 크기는 매우 크다. 따라서 최적화 모형은 의미론적 수준에서 데이터와는 독립적으로 관리하는 것이 필수적이다. 월간 최적원유구매를 위한 모형은 약 500 에서 1500 개 정도의 제약식으로 구성되어 있다. 이런 대규모의 모형을 효율적으로 생성하고 관리하기 위해서는 모형화 시스템의 지원이 필요하다.

UNIK-OPT 는 모형화 과정에서 사용자로 하여금 자신의 문제에 적합한 모형을 생성할 수 있도록 지원하기 때문에, 공통의 지식베이스로부터 사용자의 문제 정의에 따른 다수의 모형을 생성할 수 있다. 또한 데이터와는 독립적이기 때문에 모형의 크기와 데이터의 변화에 관계없이 모형을 생성할 수 있다. 최적화 모형과 지식베이스는 독립적으로 관리되므로, 지식베이스의 변화로 인한 모형의 수정은 자동적으로 이루어 진다.

VI. 결론

UNIK-OPT 는 프레임기반 지식관리 도구인 UNIK (UNified Knowledge) [2] 와 C++ 언어로 SUN Sparc 워크스테이션에서 개발되었다. 정유산업에의 적용결과, 이 시스템이 대규모의 최적화 모형을 효율적으로 생성, 관리하는 것을 확인할 수 있었다. 향후 UNIK-OPT 는 철강산업과 같은 다른 사례에도 적용될 예정이다.

VII. 참고문헌

- [1] J.K. Lee and M.Y. Kim, "Knowledge-assisted Optimization Model Formulation: UNIK-OPT," To appear in *Decision Support Systems*.
- [2] J.K. Lee et al., *Development of UNIK for the Integration of Knowledge and Optimization Models*, Technical Report N486-3509-7, KAIST, 1988.
- [3] J.K. Lee, S.B. Oh, M.S. Suh, M.Y. Kim and Y.U. Song, "Knowledge Network for Planning and Control of Refinery Industry: UNIK-R Project Experience," *Proc. of the Fourth International Conference on Expert Systems in Production and Operations Management*, pp. 16-32, 1990.

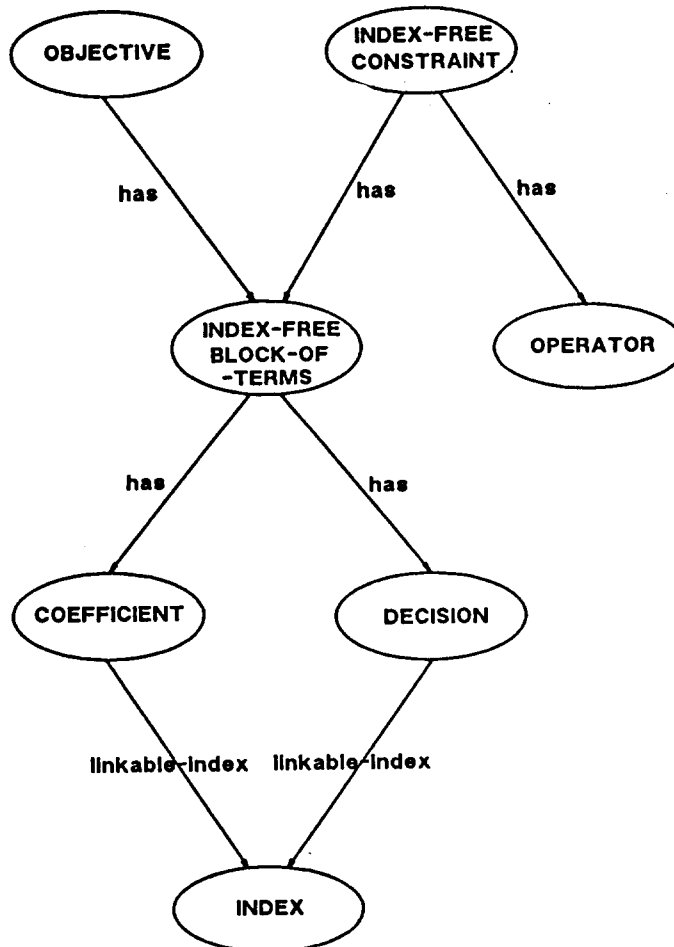


그림 1. 모형화 지식베이스의 구조

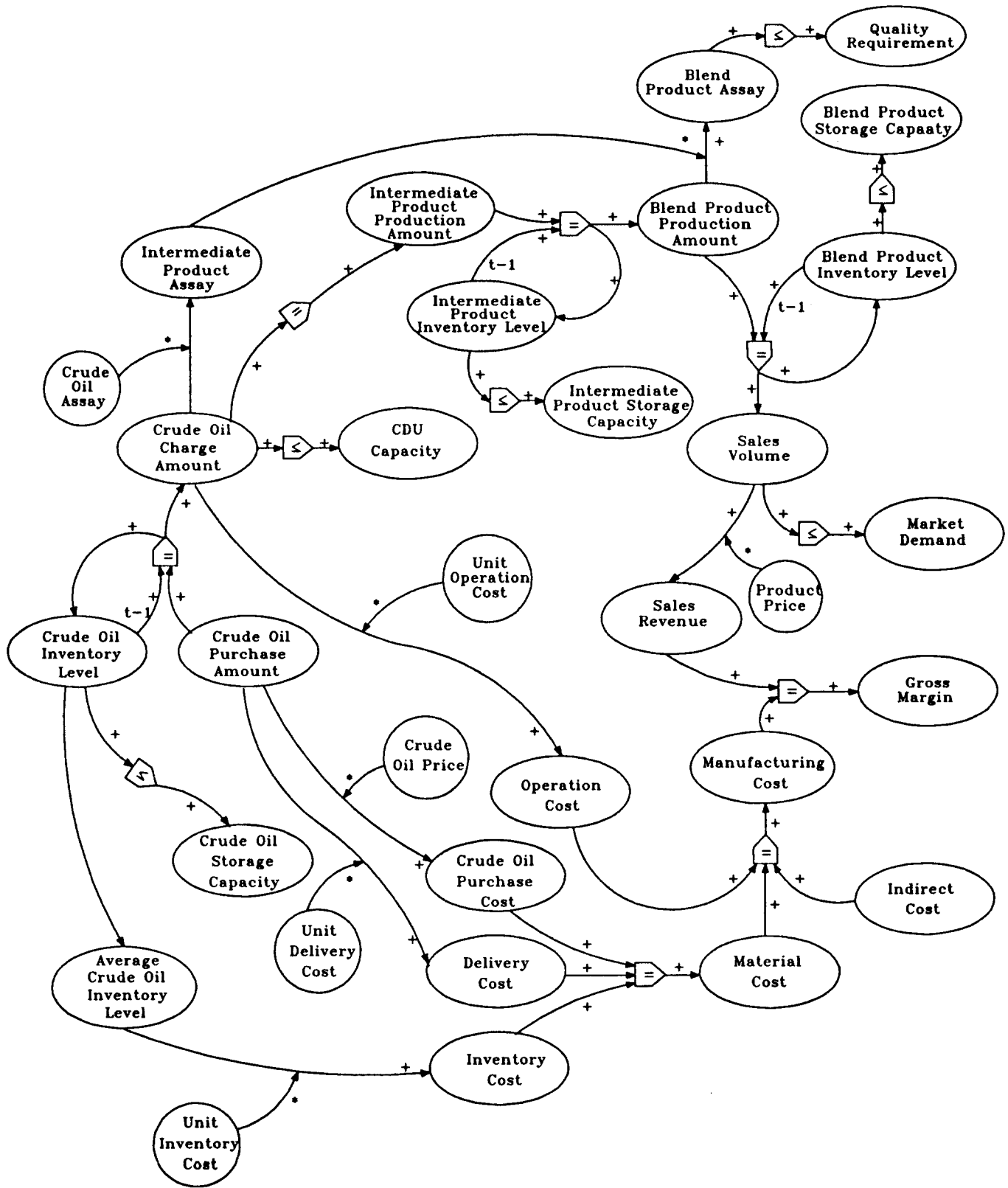


그림 2. 제약식 네트워크 예제

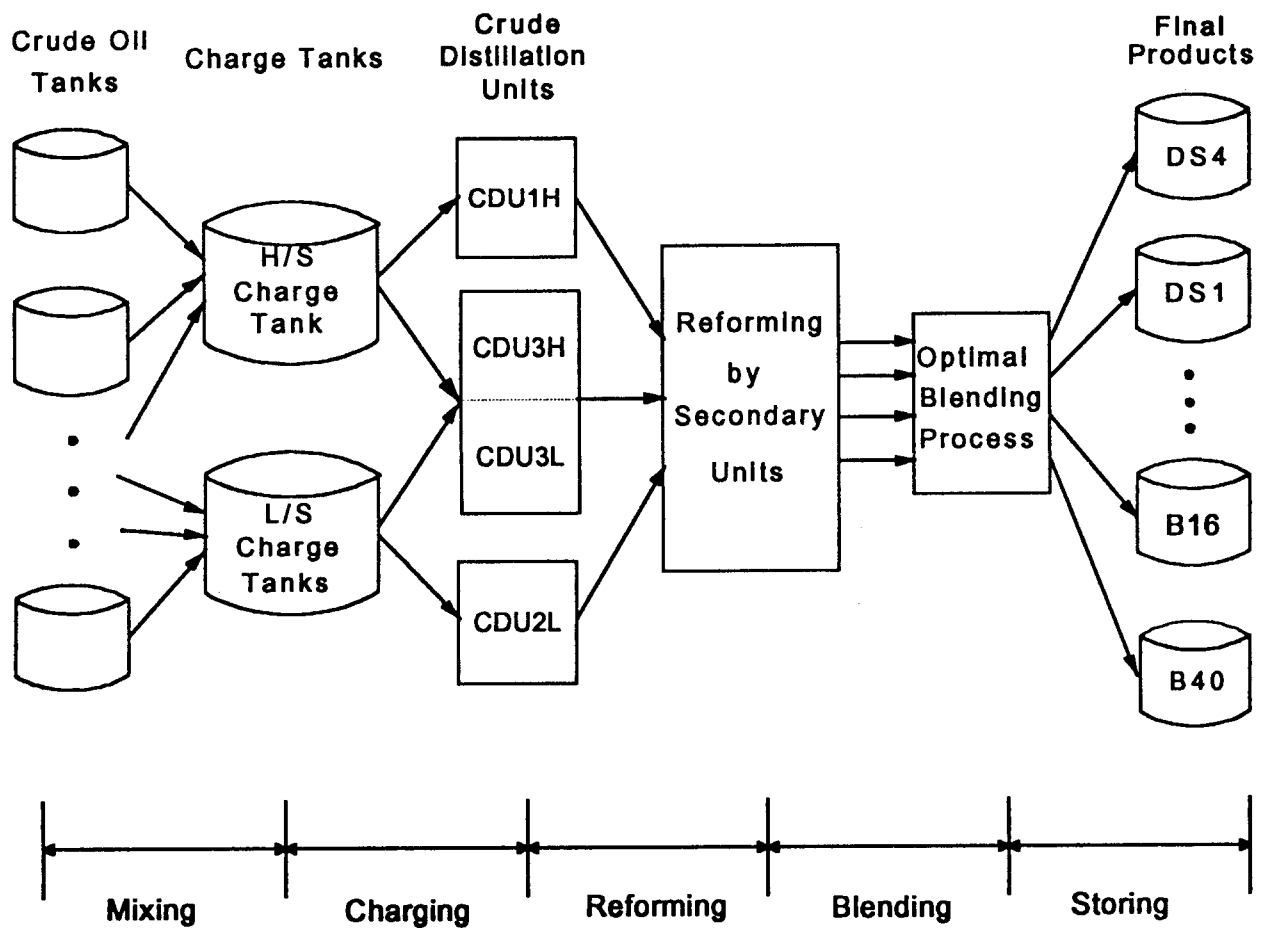


그림 3. 정유공장의 운영과정