

# 통신모형의 구조적인 지식과 객체형 데이터를 이용한 망설계시스템

김철수\*

A Design System of Telecommunication Networks  
using Structural Knowledge and Object Data

Chulsoo Kim\*

## ABSTRACT

Higher level representations play an important role in model management systems. The role is to make decision makers friendly represent their problem using the representations. In this research, we address higher level representations including five distinctivenesses: Objective, Node, Link, Topological Constraint including five components, and Decision. Therefore, it is developed a system called HLRNET that implements the building procedure of network models using structural knowledge and object data. The paper particularly elaborates all components included in each of distinctivenesses extracted from structural characteristics of a lot of telecommunication network models. Higher level representations represented with five distinctivenesses should be converted into base level representations which are employed for semantic representations of linear and integer programming problems in a knowledge-assisted optimization modeling system. The system is illustrated with an example of the local access network model.

## 1. 서 론

### 1.1. 연구배경 및 연구목적

의사결정지원시스템(Decision Support System) 분야에서 모델관리시스템(Model Management

System)의 초창기 연구들은 주로 최적화 모형 중에서 선형계획(Linear Programming) 모형에 관한 표현에 중점을 두었다[Fourer, 1983; Geoffrion, 1992; Lee and Kim, 1995]. 그리고 그 시스템들에 내장된 것은 Simplex Method나 Branch and Bound Method 등과 같은 해법에 한

\* 원광대학교 정보관리학과, 이 논문은 97년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 연구됨

정되어 있어서 네트워크 모형의 해를 구하기에는 역부족이었다. 그리고 네트워크 모형은 수리적으로 복잡하며, 또한 그것을 풀기 위한 효율적인 알고리즘도 다양해서 모형과 알고리즘을 연결해주는 문제가 앞으로 해결하여야 할 과제이다.

그러면, 이러한 통신망을 구축하기 위해서 의사결정지원 차원에서 연구되어야 할 기능들을 정리하면 다음과 같다. 첫째는, 네트워크 모형을 표현하는데 있어서 의사결정자에게 경영 계량적인 지식이 없어도 쉽게 자신의 문제를 표현할 수 있어야 한다. 둘째는 네트워크 문제들 대부분이 발견적 해법(Heuristic Method)에 의해서 풀려지는데, 이러한 해법이 시스템과 쉽게 연결될 수 있도록 모형과 해법사이에 인터페이스가 필요하다. 그리고 셋째로 해법에 관한 전문가가 없어도 시스템에서 네트워크 모형의 구조를 지식으로 내장하고 있어서 의사결정자가 얻고자하는 해를 구하기 위해 자동으로 모형구조를 판단하고, 그 모형을 기존의 알고리즘에 연결시켜 줄 수 있는 지능적인 면이 포함되는 것이 시급한 연구이다.

위에서 열거한 문제점들을 모델링 시스템 내에 포함시키기 위해서는,

1) 먼저 의사결정자가 구축하고자 하는 통신망을 네트워크 모형으로 쉽게, 그리고 친숙하게 다룰 수 있는 표현이 있어야 하며(여기서는, 이것을 상위수준의 표현이라 한다).

2) 그러한 표현을 시스템 내에 구조를 표현하는 지식과 객체형 데이터 집합으로 저장되어서 효율적인 알고리즘과 연결을 시도할 때나 차후 통신망 설계를 위해서 재 사용할 필요가 있을 때에 쉽게 모형의 복구가 가능한 특성을 지녀야 한다.

위의 두가지 목표를 실현하기 위한 시스템은 UNIK-NET이며, 이 중에 첫 번째의 목표를 구현한 네트워크 모형화시스템인 HLRNET를 설명하고자 한다. 이러한 과제를 해결하기 위해서, 본

장에서는 모델관리 시스템에서 많이 사용되고 있는 언어에 대해서 간략히 알아보기로 한다. 제 2장에서는 본 논문의 시스템인 HLRNET의 전반적인 시스템구조에 대해서 설명한다. 제 3장에서는 상위수준에의한 모형화과정에 대해서 설명되는데, 상위수준의 표현구조, 상위수준의 특성자들, 그리고 시스템에서의 모형화과정을 화면을 통해서 설명하기로 한다[Kim, 1996]. 제 4장에서는 UNIK-OPT에서 표현되는 기저수준의 표현과 기저수준으로의 변환에 관해서 상세히 시스템을 이용해서 설명된다[Lee and Kim, 1995]. 제 5장에서는 HLRNET 시스템을 이용해서 실제적인 문제인 텔리팩 통신망 모형을 가지고 모형을 구축하고 해를 구하는 것을 보임으로써 본 시스템이 현실문제를 표현하는데 실용성이 있음을 보이고자 한다.

## 1.2 관련 연구

네트워크 모형은 통신망 설계를 비롯하여 제반 응용분야에 경영의사결정을 지원하기 위해서 사용되고 있다. 보통 컴퓨터 네트워크는 두 가지로 나누어지는데, 첫째는 백본(Backbone) 네트워크인데 이는 막대한 통신량을 전송하는 주요 고속 통신망을 지원하는 역할을 한다. 둘째는 가입자 접근(Local Access) 네트워크로 백본 네트워크와 지역적인 가입자와 사이에서 발생하는 통화량을 전송하거나 수신 및 통제역할들을 담당한다. 네트워크 설계 측면에서 네트워크 모형들은 복잡한 해법과정을 갖는 혼합 정수계획모형으로 다루기가 어려울 뿐만 아니라 다양한 네트워크를 설계하고자하는 경영자들에게는 적합한 모형생성과 효율적인 해법을 제시하는 문제들이 큰 어려움으로 여겨지고 있다. 그리고, 네트워크 모형의 생성을 위한 복잡한 모형구조와 이를 구축하기 위한

집약적인 지식베이스 그리고 모형유지의 필요성이 비전문적인 사용자에게 요구되고 있어서 이를 해결하기 위한 의사결정지원시스템(Decision Support System) 차원에서 많은 노력이 요구된다. 수리계획 모형에 대해 전문적인 지식이 없는 사용자가 자신이 해결하고자 하는 도메인을 쉽게 표현할 수 있도록 의미론적인 표현을 시스템에서 제공한다면 사용자에게는 큰 도움이 될 것이다. 이러한 점에 관련된 연구에 대해서 알아보자.

대수적인 모형 언어(Algebraic Modeling Language)는 사용자가 자연스럽게 구축하며, 최적화 알고리즘에서 요구하는 형태와 번역할 수 있는 형태로 표현하는 것이 모형화 언어에 관한 중요한 아이디어이다. 첨자를 갖는 데이터와 변수는 정확하게 심볼화하여 인덱스된 전체 집합으로서 언어를 정의한다. 목적식과 제약식 들은 대수 표현을 통해서 규정된다[Bisschop and Entriken, 1993; Fourer et al, 1983, Geoffrion, 1992]. 그 결정변수와 결합된 액티비티(Activity)의 묘사나 제약식을 행렬로써 블록화한 표현도 마찬가지로 대수표현으로 이루어진다. 단점으로는 네트워크 모형을 표현하기에는 목적식과 제약식 및 결정변수들에 대한 표현들이 수리적인 모형으로 표현할 때와 같이 전문적인 지식과 노력이 들게 된다.

제약논리 프로그래밍언어(Constraint Logic Programming Language)는 CLP 언어는 논리적 문제(Logic Problem)를 표현하기 위해서 개발되었다. 그리고 그것은 정수계획 모형까지 확장되었다. 초기에 많은 연구가 있었는데, 알려진 연구로는 Lauriere의 ALICE로 최적화 모형을 대수적이고 논리적인 형태로 표현하였다. 최근에 관심을 끈 연구로는 CHIP 프로젝트(Dincbas et al, 1990)에서 Van Hentenryck 등은 프롤로그 언어를 기반으로 한 인공지능 측면에서 논리 계획법(Logic Programming)에 관한 도구를 구축하였

다. 여기서 정수모형이나 네트워크 모형을 풀기 위해서 자주 사용되는 가능해의 하한(Lower Bound)을 제공하는 알고리즘과 연결하는 문제를 해결하는 것이 큰 과제이다.

네트워크-기반 표현(Network-based Representation)은 정수계획 문제에서 가장 널리 알려진 표현 중에 하나가 노드와 노드를 연결하는 링크(Link), 그리고 그것들과 관련된 데이터의 형태로 문제를 나타내고자 하는 것이 네트워크를 기반한 표현이다. 이 분야에는 Glover, Klingman과 Phillips(1990)가 네트워크 모형을 네트워크 다이어그램으로 모형의 구조를 표현하는 전통적인 방법과 네트워크 데이터를 연결하기 위해서 netform이란 형태를 소개하였다. Steiger, Sharda와 Leclair(1993)의 GIN은 netform을 최소비용 네트워크 모형에 적용하였다. 다른 예로 Ogryczak, Studzinski와 Zorychta의 DINAS/EDINET(1992), McBrides의 NETSYS(1988), Jones의 NETWORKS(1993) 그리고 Kendrick의 PTS(1991) 등이 있다. netform 시스템은 네트워크 모형을 표현하는데 있어서는 사용자가 메뉴를 보고 쉽게 표현할 수 있는 장점이 있으나, 다양하게 적용할 수 있는 Hub-problem 계열, 텔리팩 문제 같은 현실적으로 많이 이용되고 있는 복잡한 문제에 대해서는 응용성이 떨어지는 것으로 조사되었으며, 또한 풀고자하는 문제에 대해서 효율적인 알고리즘을 쉽게 선택하거나 변경시킬 수 있는 시스템의 확장성에 큰 어려움이 있다.

지식기반 표현(Knowledge-based Representation)은 모형화 지식과 도메인(Domain) 지식을 사용하는 지식을 기반으로한 몇몇의 모형화 도구가 있다. Ma(1989)를 비롯한 여러 연구자들은 선형계획 모형의 구조와 그래피클을 설계함으로써 크고 복잡한 선형계획 모형을 구축하고자 했다. 또한 규칙에 기반한 접근법도 있는데 이는 OR

(Operation Research) 전문가를 돕기 위한 것이었다. Stohr(1987)는 최적화 모형을 수학적인 표현보다는 그래픽한 표현으로 하고자 했다. 그리고, 대수적인 항과 연속되는 조합 항을 제약식으로 변환도 하였다. 위의 연구는 모형관리 시스템 측면에서는 큰 의미를 가지나 OR 전문가만을 지원한다는 문제가 있다. 그래서 Binbasioglu와 Jarke(1986)는 선형계획모형의 문법적인 지식과 연관된 의미론적인 정보를 사용하여 OR의 비전문가가 해결하고자 하는 도메인을 모형화할 때 지원해 줄 수 있는 모형구축 접근법을 제안했다. Bhargava와 Krishnan(1993)은 PM\*를 개발했는데, PM\*는 정성적인 추론을 할 수 있는 도메인 관련 지식베이스와 생산계획 도메인을 선형계획 모형으로 모형화하는 모델링 지식베이스를 갖는다.

본 시스템은 마지막에 설명된 지식기반 표현으로 네트워크 모형을 표현하는데, 특히 상위수준 표현과 이를 전환하여 기저수준의 표현도 가능한 UNIK-OPT(선형 및 정수계획 문제를 모형화시스템)의 의미론적인 표현 법에 따라 진행해 나간다.

## 2. HLRNET의 시스템 구조

HLRNET는 통신망 설계를 위한 상위수준 표현해 주는 것과 이를 기저수준의 표현으로 변환하여 그에 적합한 휴리스틱 방법론을 연결시켜 주는 것을 목표로 하고 있다. 이 시스템은 UNIK 시스템 환경에서 개발되고 있는데, UNIK 하에서 여러 관련 시스템들간의 연결도 이루어진다. 관련되는 시스템들은 UNIK-OBJECT, UNIK-FWD, UNIK-OPT, 그리고 UNIK-RELAX 등이다[Lee et al., 1994; Kim and Lee, 1997]. HLRNET 시스템은 Windows 3.1에서 구동되는 시스템으로

Borland C++로 코딩되었다. 현재 HLRNET가 개발단계에 있어서 본 논문에서는 사용자가 표현한 상위수준의 프레임을 기저수준의 프레임으로 전환되는 과정과 그 표현된 프레임과 가지고 통신망 모형과 같은 복잡한 혼합정수 모형의 해를 구하는데 매우 효율적인 Lagrangian relaxation 휴리스틱으로 연결시켜 주어 해를 구하는 과정을 구현된 시스템에 의해서 보이고자 한다. HLRNET의 기본 특징을 설명하면 첫째는, 경영계량에서 비전문가가 네트워크 설계를 지원해 준다. 네트워크 모형은 의사결정자에게 다양한 도메인에 관하여 중요한 의사결정을 하도록 지원한다. 다소, 모형에 관한 심도 깊은 전문성이 요구되기는 하지만 상위수준을 통해서 모형 표현이 자유롭게 표현 가능하기 때문에 통신망 설계 시에 전문성을 갖지 않은 사용자라 하더라도 모형구축에 큰 어려움을 갖지 않는다. 둘째는, 이러한 상위수준의 표현을 갖는 HLRNET는 도메인에 의존적이지 않다. 모형화 과정에서 표현되는 여러 특성자들은 특정한 도메인만을 표현하는 것이 아니므로 다양한 도메인의 표현이 용이하다. 기존의 UNIK-OPT는 사용자가 그 시스템의 인터페이스(Interface)로부터 모형을 생성할 때에 모형화 단계의 애매성(Ambiguity) 제거과정으로부터 이러한 점을 보완하고 있다. 여기서는 상위수준의 표현에서는 이러한 점은 나타나지 않고, 기저수준에서 나타나게되며 그것은 UNIK-OPT를 따르게 된다 [Lee and Kim, 1995]. 끝으로, HLRNET는 공통지식베이스(Common Knowledge Base)와 도메인지식베이스(Domain Knowledge Base)를 갖는데, 모형생성 시에 공통지식베이스로부터 사용자가 원하는 여러 통신망 모형을 구축하게 된다. 이러한 지식베이스로 모형을 구축하면, 그 지식베이스가 변경하는 경우에 전에 생성된 모형에서 일관성을 유지하는 문제가 크게되는데, 이러한 경

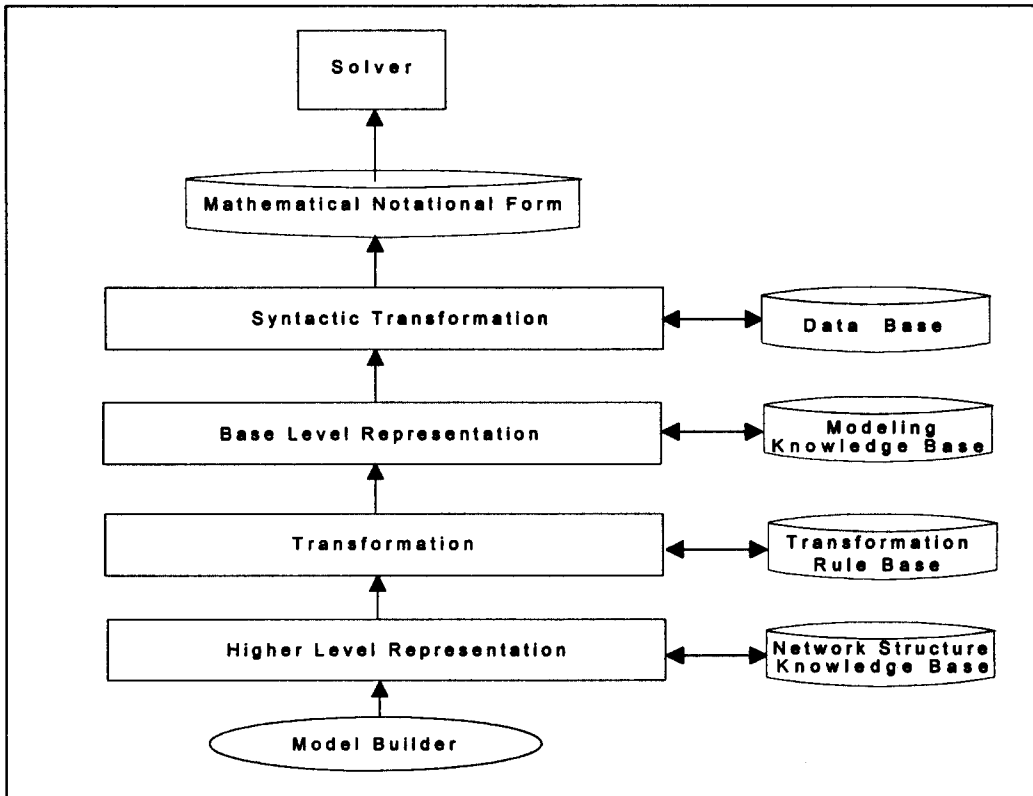
우는 논리적인 포인터를 공통지식베이스에 할당하므로써, 이미 생성된 모형과의 일관성유지에 큰 어려움을 갖지 않는다[Lee and Kim, 1995].

### 2.1 시스템 구조

〈그림 1〉은 HLRNET의 수행과정을 나타낸다.

그림에서도 보듯이, HLRNET의 주요 기능은 5가지로 구분되는데, 상위수준의 표현(Higher Level Representation), 변환(Transformation), 기저수준의 표현(Base Level Representation), 구문적 변환(Syntactic Transformation) 및 해법기(Solver) 등이다. 각 기능에 대해서 설명해 보자. 먼저, 상위수준의 표현은 모형 구축자(Model Builder)가 자기의 문제를 상위수준의 특성자(3장에서 설명

됨)를 가지고 표현한다. 여기에는 여섯 가지의 모형화 과정을 통해서 표현하게 된다. 이 과정에서 HLRNET는 7가지의 과정을 사용자와 대화형식으로 진행하는데, 이 과정에서 네트워크 모형의 구조적인 지식을 이용하여 모형의 형태를 정의하게 된다. 둘째는, 변환과정으로 이것은 상위수준의 표현을 기저수준의 표현으로 변환하게 되는데, 이 과정에서는 상위수준의 각 특성자의 조합을 가지고 기저수준의 다섯 가지(Model 프레임, Constraint 프레임, BOT 프레임, Attribute 프레임 및 Index 프레임 등으로 변환한다[Kim, 1996]. 이러한 변환과정은 하향식 접근법(Top-down Approach)에 의해서 진행된다. 세 번째는, 변환과정에 의해서 생성된 표현을 기저수준의 표현이라 하는데, 이 과정에서는 모형화에 필요한



〈그림 1〉 HLRNET의 수행 과정

지식베이스가 두 가지가 있는데, 하나는 공통지식 베이스(Common Knowledge Base)이며, 다른 하나는 특정지식베이스(Specific Knowledge Base)이다. 전자는 모든 수학적 모형의 공통적인 지식을 가지고 있는데, 이는 4장에서 설명하게 될 기저수준의 표현구조를 통한 모형의 구축에 관한 지식이다. 후자는, 모형에 관한 도메인(Domain)을 나타내는 지식이라 할 수 있다. 예를 들면 네트워크 모형에서만 나타나는 Conservation 등식과 같은 표현을 이 시스템에 담아두고 있다. 네 번째의 구문적 변환과정은 해법기에 입력되는 입력데이터의 양식을 생성하는 과정이다. 예를 들면, 어떤 모형을 Branch and Bound 해법에 의해서 풀게되는 경우에, 구문적 변환과정은 데이터베이스에서 관련 입력데이터를 가지고 LINDO의 입력형태로 변환하여 그 데이터를 해법기에 넘겨주게 된다. 끝으로, 해법기에서는 구축된 모형의 해를 구하는 역할을 하는데, 이 시스템에서는 혼합 정수계획 모형의 해를 구하는 Branch and Bound의 알고리즘이 가능한 LINDO 3.0과 연결되어 있다.

## 2.2 시스템의 주요 메뉴

HLRNET의 주요메뉴를 보면, 네트워크 모형을 입력받는 "Optimization" 메뉴, 표현된 상위수준의 프레임을 불러오는 "Higher Level" 메뉴, 이를 기저수준으로 변환하는 "Transformation" 메뉴가 있으며, 변환된 기저수준의 프레임을 불러오는 "Base Level" 메뉴와 내장된 휴리스틱 해법을 불러오는 "Heuristic" 메뉴, 그리고 해법 결과를 보여주는 "Results" 메뉴 등으로 이루어졌다. <그림 2>는 HLRNET의 주요 메뉴를 사용하기 위한 초기화면을 보여주고 있다.

## 3. 상위수준의 표현에 의한 모형화과정

본 장에서는 네트워크 모형을 의미론적 차원에서 상위수준의 표현구조 및 표현 객체들에 대해서 설명한다.

### 3.1. 상위수준의 특성자들

네트워크 모형의 의미론적인 상위수준을 표현하기 위해서는 네트워크 모형의 표현구조를 유도해 내어야 한다. 네트워크 모형은 Node와 Link의 집합으로 그래프(Graph) 상에서 정의되는 수학적 모형이며, 그 수화적인 표현의 복잡성에 비해서 구조적인 면은 단순하다고 볼 수 있다. <그림 3>은 네트워크 모형이 다섯 종류의 특성자(Distinctiveness)로 구성되고, 그들간의 연관관계를 보여주고 있다.

NETWORK\_MODEL은 Object, Node, Link, Topological Constraint, Decision 등의 5가지 특성자를 가지며, 이 중에서 Topological Constraint는 Source/Destination/Commodity/Path, Capacity/Requirement/Balance, Value 등의 필수적인 항목과 Setup와 Conservation과 같은 선택적인 항목으로 표현되어 진다[Kim, 1996].

#### 1) Objective

네트워크 모형에서 나타나는 목적식의 유형은 네 가지로 나타나는데, MinimumCost\_[setup], MinimumWeight\_[setup], MinimumDelay, 그리고 MaximumFlow 등이다.

#### 2) Node

네트워크 모형에서 Node 특성자를 표현하는 항목은 다양하다. 이를 표현하면, NodeCluster\_n, NodeCost, NodeValue, NodeReliability, NodeCenter\_n, 그리고 NodeTraffic 등이 있다.

3) Link

통신망에서 Link는 통화량을 전송하는 길이다. 이 특성자에는 LinkDirection, LinkCost, LinkWeight, LinkCapacity, LinkSetupFlow 및 LinkMultipleFlow 등이 있다.

4) Topological Constraint

네트워크 모형에서 Node들과 Link들간의 관련성이 모형의 특성을 결정하게 되는데, 여기서는 그러한 관련성을 상위수준 표현의 하나의 특성자로 정해서 이를 Topological Constraint라 했다.

이 특성자는 다섯 가지의 항목을 포함하는데, 그 항목들은 unit\_term, operator, value, setup, 과 characteristics 등이다. 각 항목에 나타날 수 있는 값을 보면 다음과 같다[Kim, 1996].

```

{{ topological_constraint_name
  IS-A: topological_constraint
  unit_term: (source/destination/
             commodity/path/hub)
  operator: (capacity/requirement/
            balance)
  value: (0/1/(-1,0,1)/2/n/ ...)
  setup: (null/link/node)
  characteristics: (null/conservation/
                  tour/hub/setup) }}
    
```

topological\_constraint 프레임은 네트워크 모형에서 제약식을 나타낸다.

각 항목을 보면, "unit\_term"에서 Source는 전송되는 시발점으로  $\sum_{j=1}^n x_{ij}$ 와 같이 수식으로 표현되며, Destination은 트래픽의 도착점으로  $\sum_{i=1}^m x_{ij}$ 와 같이 표시된다. 그리고 결정변수의 형태가 다중 트래픽이면 commodity이고, O-D 간의 path가 존재하면 path로 나타내고, p-Hub 문제 형태이면 hub로 표시한다. "operator"에서는

Capacity, Requirement, 그리고 Balance는 각각  $\leq b$ ,  $\geq b$ ,  $= b$ 를 의미하는데, 여기서 b는 right-hand-side의 값이다. 그리고 "value"항목은 네트워크 모형에서 자주 발생하는 right-hand-side의 값이라 할 수 있다. "setup" 항목은 Link나 Node상에 setup 항목 즉, 설치되면 양수인 값이 주어지고, 그렇지 않으면 zero의 값이 주어지는 것을 의미한다. 그리고 "characteristics" 항목은 네트워크 상에서 제약조건외의 형태로 자주 발생하는 특징을 나타내는데, Network Flow 문제에서 발생하는 conservation 제약식, Traveling Sales 문제에서 발생하는 tour 제약식, 그리고 p-Hub Location 문제에서 발생하는 hub 자체의 특성을 의미하며, 이외에도 모형 특성을 고려한 setup, cycle, sum\_of\_traffic 등도 있다. 여기서 설명된 전자 세 가지의 항목은 필수적인 항목이며 나머지 두 가지 항목은 선택적이다. 위의 전형적인 통신망 모형들을 포함하여 모든 네트워크 모형에서 발생하는 topological constraint의 모든 프레임을 나타내면 <그림 2>와 같다. 이것은 네트워크 모형에 관한 구조적인 지식으로 HLRNET 내에 프레임 형식으로 저장되어 모형화과정에서 사용자가 화면을 보고 선정할 수 있게 한다.

5) Decision

Decision은 네트워크 모형에서 구하고자 하는 결정변수를 나타내는 특성자로, 이는 모형화 추론과정에서 topological constraint의 unit\_term, operator, value 등에 영향을 주게된다. Decision으로 나타날 수 있는 형태는 assignment와 flow이다. assignment에는 일반적인 assignment 변수와 hub\_allocation 변수, capacity\_assignment 변수 및 이진(Binary) 변수 등이 있으며, flow에는 정수형태와 실수형태가 있으나 Modularity Property에 의해서 실수형태는 고려하지 않아도 된다.

<pre> {{source_destination_balance_one   IS-A : Topological_Constraint   unit_term : source/destination   operator : balance   value : 1   setup :   characteristics }} {{ conservation_telepak   IS-A : Topological_Constraint   unit_term : source   operator : balance   value : traffic_requirement   setup :   characteristics : conservation }} {{ traffic_capacity_setup   IS-A : Topological_Constraint   unit_term : source/destination   operator : capacity   value : traffic_capacity   setup :   characteristics : setup }} {{time_delay   IS-A : Topological_Constraint   unit_term : source/destination   operator : requirement   value : time_threshold   setup :   characteristics }} {{path_destination_arrive_rate   IS-A : Topological_Constraint   unit_term : path   operator : balance   value : arrive_rate   setup :   characteristics }} {{hub_total_number   IS-A : Topological_Constraint   unit_term :   operator : balance   value : hub_total_number   setup :   characteristics }} {{ source_destination_hub_capacity   IS-A : Topological_Constraint   unit_term : source/destination/hub   operator : capacity   value : hub(s), (d)   setup :   characteristics }} {{balance_two_degree   IS-A : Topological_Constraint   unit_term : source, destination   operator : balance   value : two   setup :   characteristics }} {{ undirect_link   IS-A : Topological_Constraint   unit_term : source/destination   operator : balance   value : zero   setup :   characteristics }} {{ one_tour   IS-A : Topological_Constraint   unit_term : source/destination   operator : capacity   value : number_of_node - 1   setup :   characteristics : tour }} </pre>	<pre> {{ node_having_more_than_one_degree   IS-A : Topological_Constraint   unit_term : source, center   operator : requirement   value : one   setup :   characteristics }} {{ all_node_spanned   IS-A : Topological_Constraint   unit_term :   operator : balance   value : number_of_node - 1   setup :   characteristics }} {{ cycle_of_all_node   IS-A : Topological_Constraint   unit_term :   operator : capacity   value : cycle_value   setup :   characteristics : cycle }} {{ conservation_multicommodity   IS-A : Topological_Constraint   unit_term : source/commodity   operator : balance   value : (-1,0,1)   setup :   characteristics : conservation}} {{ link_setup   IS-A : Topological_Constraint   unit_term : source/destination   operator : balance   value :   setup :   characteristics : setup }} {{ capacity_multicommodity   IS-A : Topological_Constraint   unit_term : source   operator : capacity   value : total_requirement -   requirement_of_node   setup :   characteristics : conservation }} {{ all_node_spanned_by_center   IS-A : Topological_Constraint   unit_term :   operator : balance   value : number_of_node -   number_of_center   setup :   characteristics }} {{ all_node_of_degree_two   IS-A : Topological_Constraint   unit_term : source   operator : balance   value : 2   setup :   characteristics }} {{ start_node_of_degree_one   IS-A : Topological_Constraint   unit_term :   operator : balance   value : 1   setup :   characteristics }} {{ sum_of_traffic_capacity_total_capacity   IS-A : Topological_Constraint   unit_term :   operator : capacity   value : total_capacity   setup :   characteristics : sum_of_traffic }} </pre>
---	--

<그림 2> 전형적인 통신망 모형들의 Topological Constraint 특성과 프레임



### 3.2. 통신망 모형의 상위수준 표현

상위수준 표현의 특성자들을 설명하기에 앞서서 본 연구에서는 경영계량 분야에서 모형과 해법에 관한 연구가 많이 이루어졌고, 현실적인 통신망 설계시에도 널리 알려진 13개의 통신망 모형을 가지고 상위수준의 표현을 적용해 봄으로써 언급한 특성자들에 대한 타당성을 높였다. 잘 알려진 통신망 모형들은 아래와 같다.

- . Capacity Assignment[Duta, 1993]
- . Flow Assignment[Duta, 1993]
- . p-Hub Center[Cambel, 1994]
- . p-Hub Median[Cambel, 1994]
- . Hub Location[O'Kelly, 1992]
- . Two-connected Spanning Network Design [Monma, 1990]
- . Telepak Problem[Gavish, 1991]
- . Capacitated Minimal Spanning Tree [Kershenbaum, 1993]
- . Multicommodity Network Flow[Gavish, 1989]
- . Multicenter Tree Network[Gavish, 1991]
- . Minimal Cost Loop[Gavish, 1991]
- . Minimal Cost Constrained Loop[Gavish, 1991]
- . Multicenter Minimal Cost Constrained Loop [Gavish, 1991]

그리고 앞에서 조사한 전형적인 통신망 모형들 각각을 상위수준 표현의 다섯 가지 특성자에 의해서 표현한 것을 AND/OR 그래프로 표현하면 <그림 3>과 같다.

### 3.3. 모형화 과정

이 장에서는 사용자가 도메인 지식을 통해 네

트워크 문제를 시스템에 표현하고 이를 시스템이 상위수준의 표현으로 모형화하는 과정에 대해서 설명해 보기로 하겠다. 이 과정은 3.2절에서 설명한 상위수준 표현에 관한 NETWORK\_MODEL 프레임과 Topological\_Constraint 프레임들을 생성하게 되는데, 진행되는 추론과정은 상향식방법으로 이루어진다. 시스템 구축 시에 통신망을 설계하고자 하는 사용자가 통신망 관련 Domain의 지식을 아래의 절차에 따라서 표현하게 된다.

- 1) 결정변수의 형태를 결정한다.
- 2) Node 집합의 특성을 결정한다.
- 3) Link 집합의 특성을 결정한다.
- 4) 모형의 목적식을 선택한다.
- 5) 모형의 제약식을 선택한다.
- 6) 데이터 집합을 작성한다.

위의 절차를 설명하기 위해서, 각 단계마다의 HLRNET(UNIK-NET의 모형화 시스템)의 화면, 시스템에서 제시되는 내용, 그리고 사용자의 선택으로 구분해서 설명하고자 한다. 네트워크 모형인 Generalized Assignment Problem 중에서 Plant Assignment Problem 문제를 가지고 진행한다. 그 문제의 수식은 다음과 같다.

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad \text{--- (1)}$$

subject to

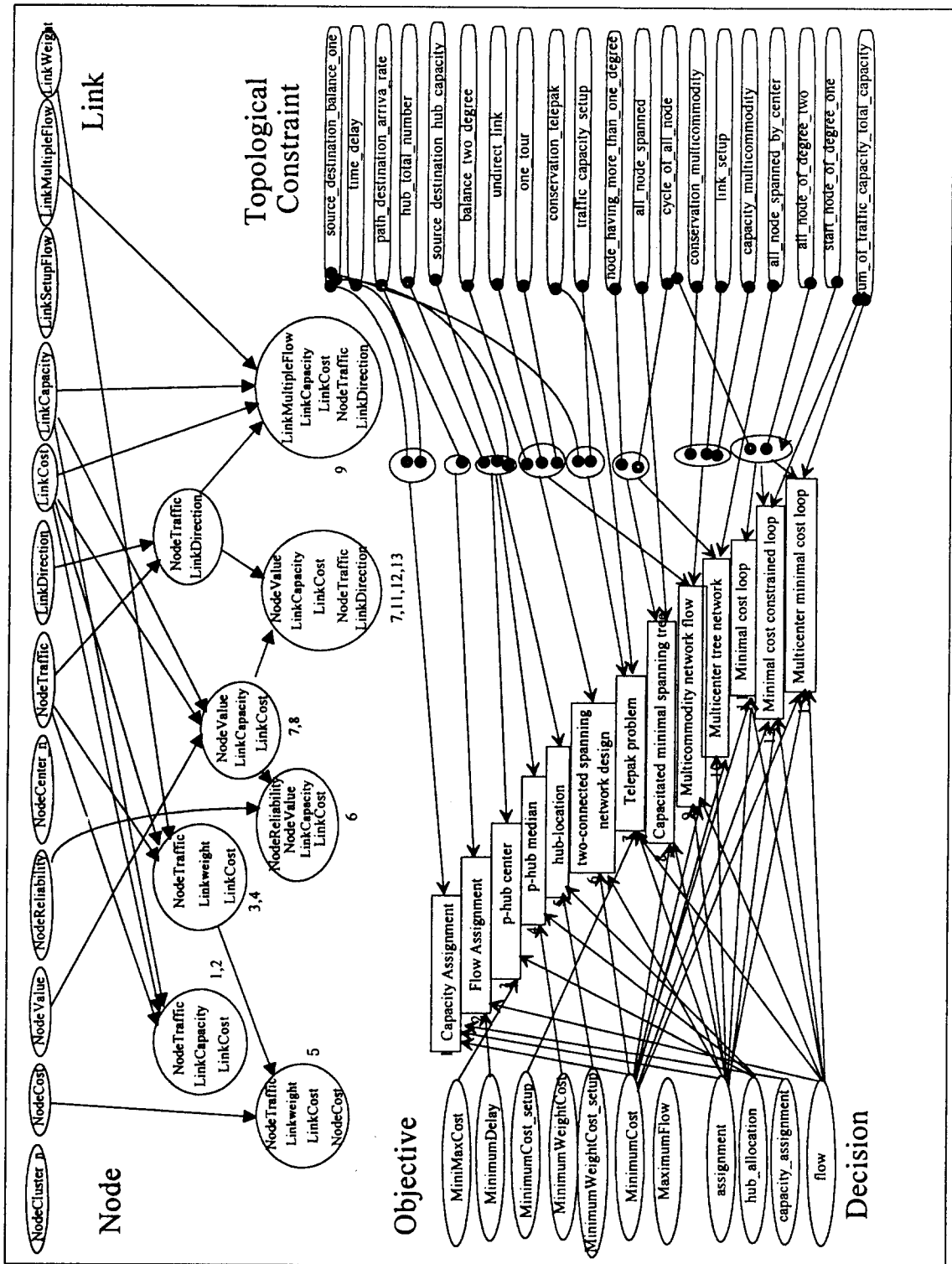
$$\sum_{i=1}^m a_{ij} x_{ij} \leq b_j, \quad j=1, \dots, n \quad \text{--- (2)}$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i=1, \dots, m \quad \text{--- (3)}$$

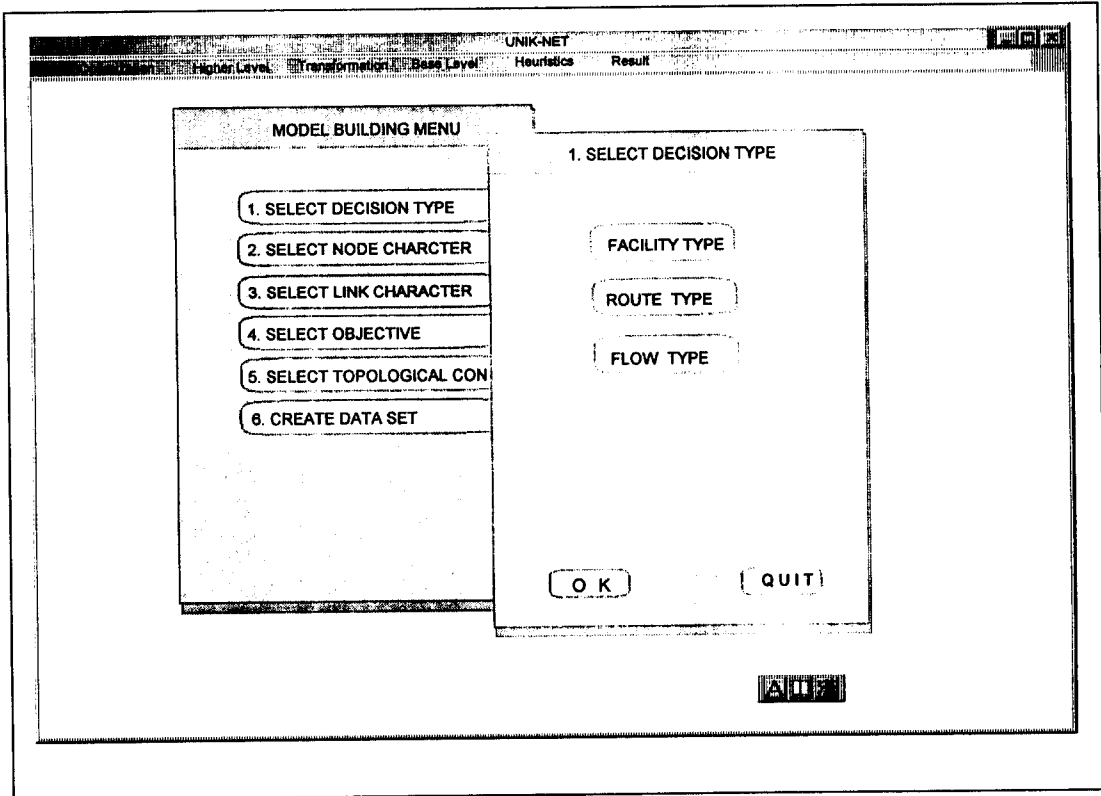
$$x_{ij} = \{0,1\} \quad \forall i,j \quad \text{--- (4)}$$

단계 1) 결정변수의 형태를 결정한다.

[시스템] <그림 4>에서 보듯이 사용자가 SELECT DECISION TYPE 메뉴를 선택하면 세 가지의 형태 즉, 설비배치문제 형태(FACILITY



<그림 3> 상위수준 표현의 계층적 제약 이차원 예시망 모형의 AND/OR 그래프



<그림 4> 모형화 과정의 결정변수의 형태 선택단계의 화면

TYPE), 경로선택문제 형태(ROUTE TYPE), 그리고 흐름분석문제 형태(FLOW TYPE)들을 보여준다.

[사용자] 위의 문제의 경우에는 FACILITY TYPE을 선택한다.

[시스템] 시스템에서 내장된 프레임 내용을 보면 다음과 같다.

```

{{ PLANT_ASSIGNMENT_PROBLEM
  IS-A : NETWORK_MODEL
  OBJECTIVE :
  NODE :
  LINK :
  TOPOLOGICAL_CONSTRAINT :
  DECISION : ASSIGNMENT_
              BINARY }}

```

단계 2) Node 집합의 특성을 결정한다.

[시스템] <그림 5>에서 보듯이 사용자가 SELECT NODE CHARACTERISTICS 메뉴를 선택하면, Node에 관한 특징들이 화면에 표현된다.

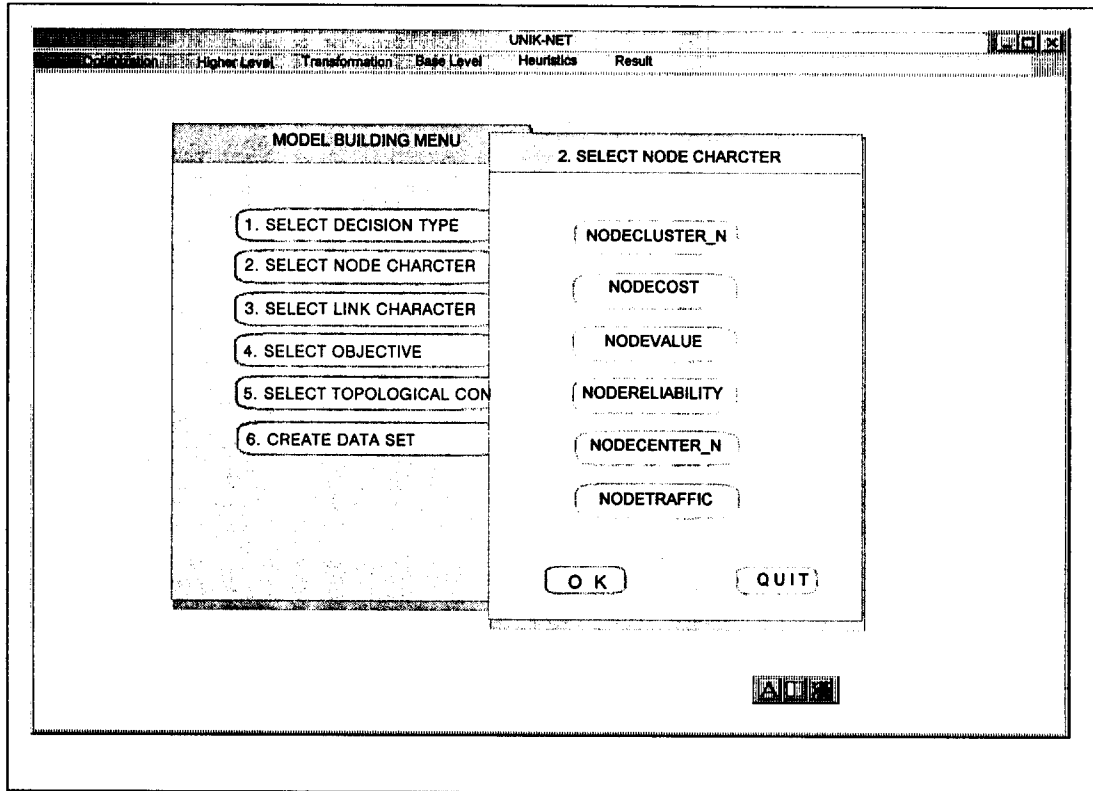
[사용자] 사용자는 위의 예제에 대해서, Node 집합이 Source 집합과 Destination 집합으로 구분되기 때문에 NODECLUSTER\_2를 선택하며, Node에 용량제한의 값이 있어서 NODEVALUE 항목을 선정한다. 그리고 Node를 심볼을 갖고 표시하며 두 개의 그룹으로 나누어서 표현한다.

[시스템] 이 과정 이후에 수정된 프레임 내용을 보면 다음과 같다.

```

{{ PLANT_ASSIGNMENT_PROBLEM
  IS-A : NETWORK_MODEL

```



〈그림 5〉 모형화 과정에서 NODE 특성을 선택하는 화면

OBJECTIVE :  
 NODE : NODECLUSTER\_2  
       NODEVALUE  
 LINK :  
 TOPOLOGICAL\_CONSTRAINT :  
 DECISION : ASSIGNMENT\_  
           BINARY }}

단계 3) Link 집합의 특성을 결정한다.

[시스템] 〈그림 6〉에서 보듯이 사용자가 SELECT LINK CHARACTERISTICS 메뉴를 선택하면, Link에 관한 특징들이 화면에 표현된다.

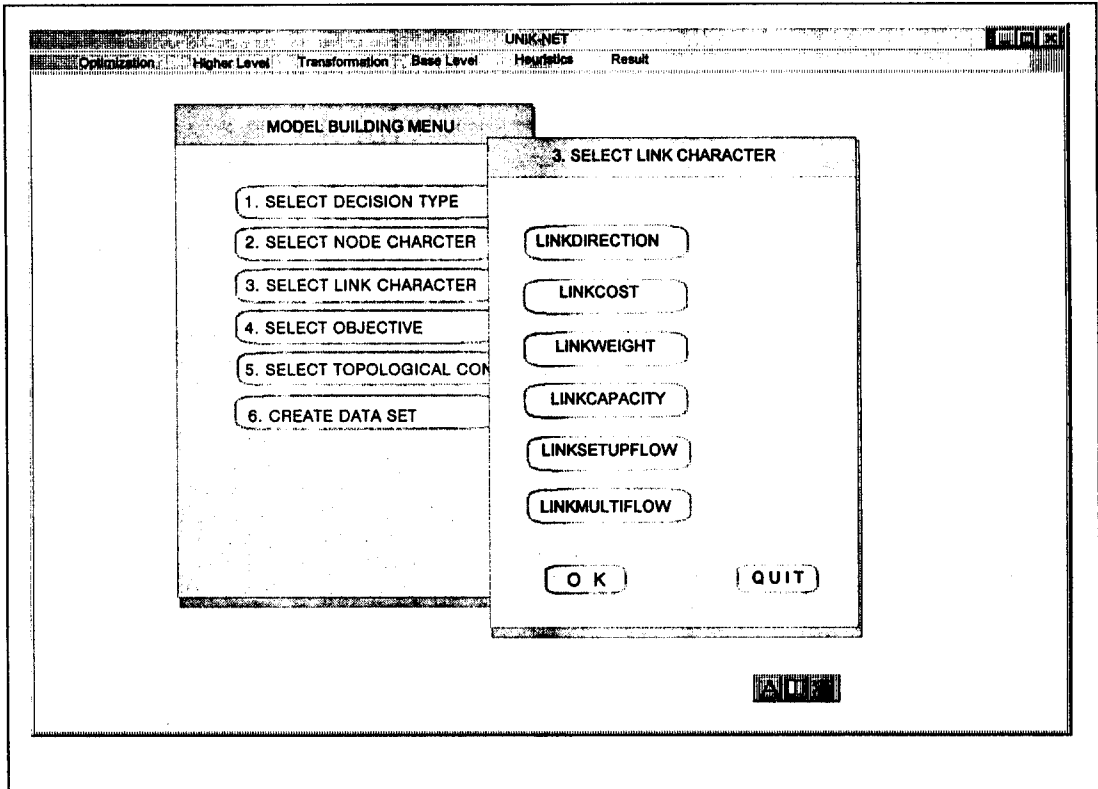
[사용자] 사용자는 위의 예제에 대해서, 모든 Link 들이 Source Node 집합에서 Destination

Node 집합으로 방향성을 갖고 있어서 LINK-DIRECTION을 선정하며, Link 마다 네트워크에서 설정되면 값이 주어지고 그렇지 않으면 zero의 값을 갖는 즉, Setup 특성을 갖기 때문에 LINKSETUPFLOW를 선정한다. Link의 수는 단계 2에서 결정된 Node의 수와 두 개의 나누어진 집합에 따라 결정된다.

[시스템] 수정된 프레임 내용을 보면 다음과 같다.

```

{{ PLANT_ASSIGNMENT_PROBLEM
  IS-A : NETWORK_MODEL
  OBJECTIVE :
  NODE : NODECLUSTER_2
  NODEVALUE
  LINK : LINKDIRECTION
  
```



〈그림 6〉 모형화 과정에서 LINK 특성을 선택하는 화면

```
LINKSETUPFLOW
TOPOLOGICAL_CONSTRAINT :
DECISION : ASSIGNMENT_
    BINARY }}
```

```
{{ PLANT_ASSIGNMENT_PROBLEM
IS-A : NETWORK_MODEL
OBJECTIVE : MINIMUMCOST
NODE : NODECLUSTER_2
NODEVALUE
LINK : LINKDIRECTION
    LINKSETUPFLOW
TOPOLOGICAL_CONSTRAINT :
DECISION : ASSIGNMENT_
    BINARY }}
```

단계 4) 모형의 목적식을 선택한다.

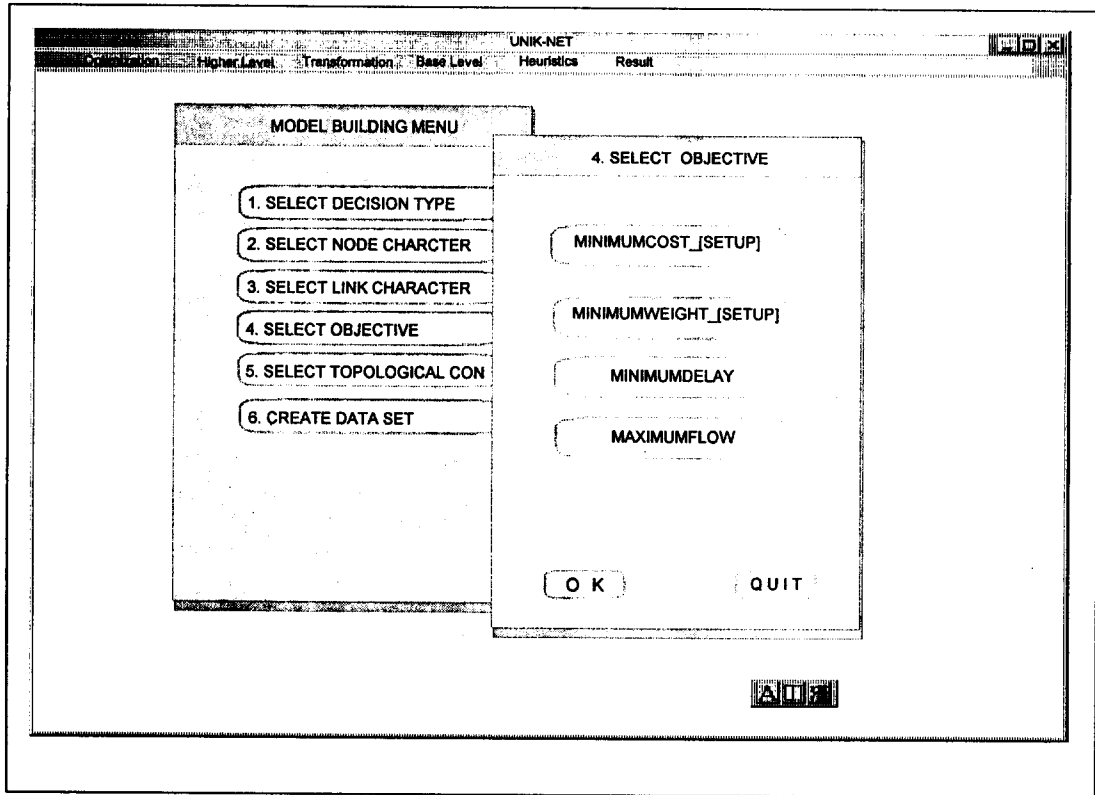
[시스템] 〈그림 7〉에서 보듯이 사용자가 SELECT OBJECTIVE 메뉴를 선택하면, 3.1절에서 설명된 네 개의 목적식이 보여지며 비용에 관한 항목을 선정한다.

[사용자] 위 문제에서는 비용(설치비용)을 최소화하는 문제이므로 MINIMUMCOST이다.

[시스템] 수정된 프레임 내용을 보면 다음과 같다.

단계 5) 모형의 제약식을 선택한다.

[시스템] 〈그림 8〉에서 보듯이 사용자가 SELECT TOPOLOGICAL CONSTRAINT 메뉴를 선택하면, 〈그림 4〉에서 설명된 모든 항목들이



〈그림 7〉 모형화 과정에서 OBJECTIVE를 선택하는 화면

화면에 제시된다.

[사용자] 사용자는 위의 예제에 대해서, 첫째로 Destination Node 마다 NODEVALUE 값을 가는데, Source Node로부터 입력되는 합이 그 값에 제한되기 때문에 DESTINATION\_CAPACITY의 항목을 선정하며, Source Node로부터 연결되는 Link 수는 1이어야 하므로 SOURCE\_BALANCE\_ONE을 선정한다.

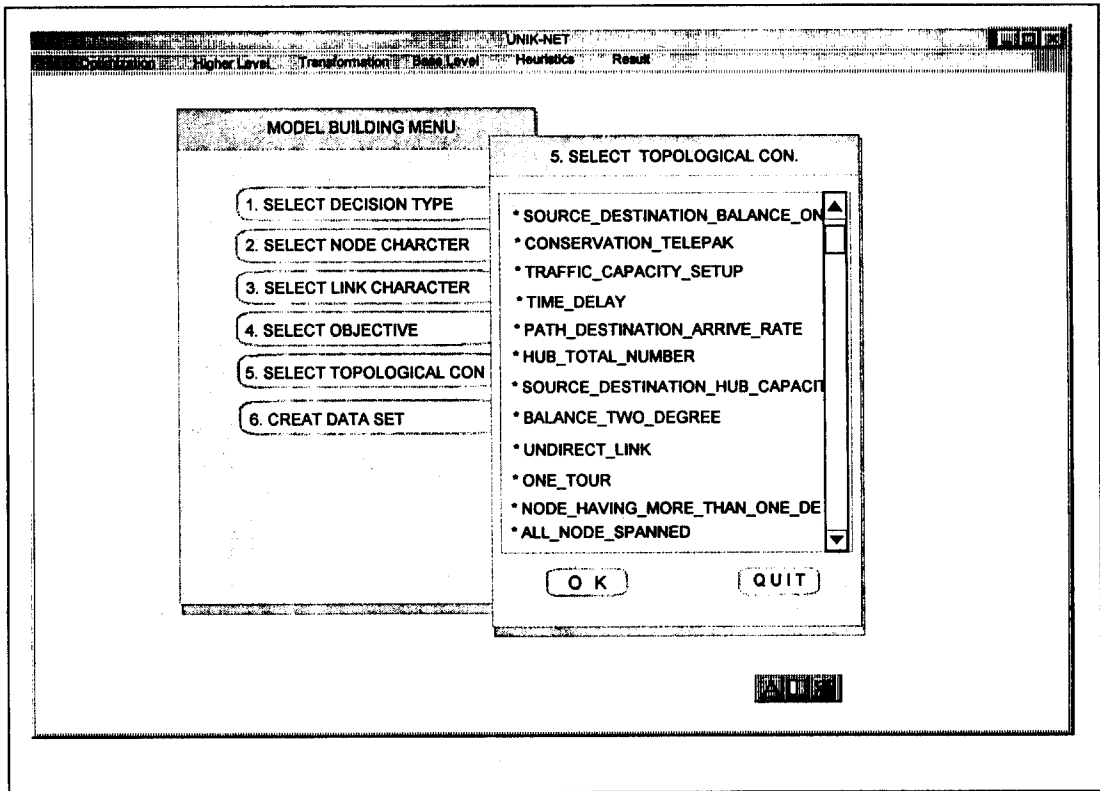
[시스템] 수정된 프레임 내용과 그 프레임의 이름으로 시스템에 내장된 Topological Constraint의 슬롯값들을 불러오면 다음과 같다.

```

{{ PLANT_ASSIGNMENT_PROBLEM
  IS-A : NETWORK_MODEL
  OBJECTIVE : MINIMUMCOST
  NODE : NODECLUSTER_2
  
```

```

  NODEVALUE
  LINK : LINKDIRECTION
  LINKSETUPFLOW
  TOPOLOGICAL_CONSTRAINT :
    DESTINATION_CAPACITY
    SOURCE_BALANCE_ONE
  DECISION : ASSIGNMENT_
    BINARY }}
  {{ DESTINATION_CAPACITY
  IS-A: TOPOLOGICAL_
    CONSTRAINT
  UNIT_TERM : DESTINATION
  OPERATOR : CAPACITY
  VALUE : TRAFFIC_CAPACITY
  SETUP : LINK
  
```



〈그림 8〉 모형화 과정에서 TOPOLOGICAL CONSTRAINT를 선택하는 화면

```

CHARACTERISTICS : }}
{{ SOURCE_BALANCE_ONE
IS-A: TOPOLOGICAL__
      CONSTRAINT
UNIT_TERM : SOURCE
OPERATOR : BALANCE
VALUE : 1
SETUP :
CHARACTERISTICS : }}
    
```

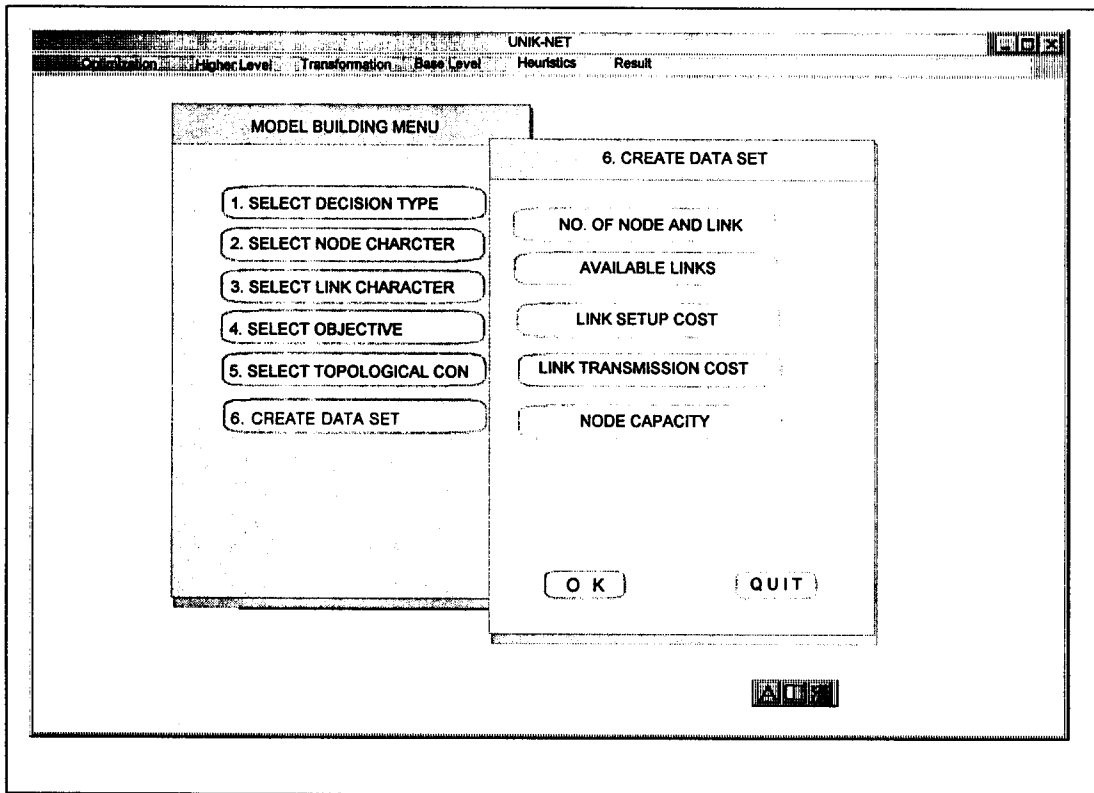
단계 6) 데이터 집합을 작성한다.  
 [시스템] 〈그림 9〉에서 보듯이 사용자가 CREAT DATA SET 메뉴를 선택하면, 입력될 데이터 항목들과 양식들이 화면에 보이면서 사용자가 데이터를 입력할 수 있게 만든다.

[사용자] 위의 단계에서 선정된 내용을 기초로 해서 입력되는 데이터의 항목은 Link마다의 설치 비용(Setup Cost), 고정흐름용량(Fixed Flow Traffic), Source와 Destination Node들의 용량(Capacity) 항목들이 Node 수와 Link 수에 맞게 화면에 보여지는데, 그 항목에 맞는 데이터들을 입력한다.

[시스템] 수정된 프레임 내용과 그 프레임의 이름으로 시스템에 내장된 Topological Constraint의 슬롯값들을 불러오면 다음과 같다.

```

{{ PLANT_ASSIGNMENT_PROBLEM
IS-A : NETWORK_MODEL
OBJECTIVE : MINIMUMCOST
NODE : NODECLUSTER_2
NODEVALUE
    
```



〈그림 9〉 모형화 과정에서 테이터 집합을 만드는 메뉴 화면

```
LINK : LINKDIRECTION
      LINKSETUPFLOW
TOPOLOGICAL_CONSTRAINT :
  DESTINATION_CAPACITY
  SOURCE_BALANCE_ONE
DECISION : ASSIGNMENT_
          BINARY }}
```

#### 4. 상위수준의 표현을 기저수준으로의 변환

본 장에서는 네트워크 모형을 의미론적 차원에서 기저수준의 표현구조 및 상위수준에서 기저수준으로 변환과정에 대해서 설명한다.

##### 4.1. 네트워크 모형의 기저수준 표현

최적화 모형을 UNIK-OPT 도구에 의해서 프레임 구조로 표현해 보자[Lee and Kim, 1995; Kim and Lee, 1997]. 3.3절에서 설명한 Plant Assignment Problem 문제 (1)-(4)를 가지고 의미론적인 기저수준의 표현 및 구조와 상위수준에서 기저수준으로 변환과정을 설명하기로 하겠다.

최적화 모형을 의미론적으로 표현하기 위해서는 모형의 구조적인 특성을 반영한 객체들이 먼저 설명되어야 한다. 그 객체들의 관계도 또한 중요한데, 그것을 설명하면, 수학적인 모형은 OBJECTIVE와 INDEXED CONSTRAINT의 객체로 구성되며, 그 두 개의 객체는 INDEXED BOT를 갖고, 거기에 후자는 OPERATOR도 같



이 이루어진다. 각 BOT는 COEFFICIENT(혹은, CONSTANT)와 VARIABLE라는 ATTRIBUTE로 나누어서 표현되며, INDEX 객체는 위의 모든 수준에서 함께 표현되고 있다.

#### 4.2. 기저수준의 변환

이 장에서는 HLRNET가 상위수준의 표현을 UNIK-OPT 시스템 내에서 운용될 수 있는 기저수준의 프레임 표현으로 변환되는 과정을 설명한다. 3장에서 설명한 모형화 과정에 따라 만들지게 되는 Plant Assignment Problem의 프레임은 다음과 같다.

```

{{ plant_assignment_problem
  IS-A : NETWORK_MODEL
  Objective : MinimumCost
  Node : NodeCluster_2, NodeValue
  Link : LinkDirection, LinkSetupFlow
  Topological_Constraint :
    destination_capacity,
    source_balance_one

  Decision : assignment_binary }}

{{ destination_capacity
  IS-A: topological_constraint
  unit_term: destination
  operator: capacity
  value: traffic_capacity
  setup: link
  characteristics: null }}

{{ source_balance_one
  IS-A: topological_constraint
  unit_term: source
  operator: balance
  value: 1
  
```

```

setup: null
characteristics: }}
  
```

상위수준의 표현을 기저수준의 표현으로 변환하는 과정은 하향식 추론방식(Top-down Reasoning Method)에 의해서 이루어지며, 위의 표현을 가지고 다섯 개의 객체 프레임들이 만들어지는 과정을 HLRNET 시스템의 화면을 보면서 설명하기로 한다.

상위수준 OBJECTIVE의 MinimumCost에 의해서 기저수준의 DIRECTION과 OBJECTIVE의 슬롯값이 결정된다. 상위수준 표현에서 Topological\_Constraint 두 개의 슬롯값이 기저수준의 CONSTRAINT 슬롯값에, destination\_capacity\_constraint와 source\_balance\_one\_constraint가 생성된다.

4.1.절에서 언급된 첫 번째 제약식은 destination\_capacity에 의해서 결정되며, 그 프레임의 각 슬롯값이 어떻게 생성되었는가를 보면 다음과 같다. 먼저 OPERATOR는 destination\_capacity 프레임의 operator 슬롯에 의해서 생성되는데 그 값은 "LE"이고, LHS와 RHS는 destination\_capacity 프레임의 value 슬롯에 의해서 결정된다. traffic\_capacity값과 setup 슬롯값 link가 기저수준의 source\_sum\_BOT와 destination\_capacity\_BOT를 생성한다. 그리고 UNIT\_INDEX는 destination\_capacity 프레임의 unit\_term에 따라 destination을 쓰면 된다. 두 번째 기저수준의 제약식은 상위수준의 source\_balance\_one 프레임을 가지고 source\_balance\_one\_constraint라 정하며, 그 프레임의 각 슬롯값이 어떻게 생성되었는가를 보면 다음과 같다. 먼저 OPERATOR는 source\_balance\_one 프레임의 operator 슬롯에 의해서 생성되는데 그 값은 "EQ"이고, LHS와 RHS는 source\_balance\_one

프레임의 value 슬롯과 setup 슬롯값에 의해서 destination\_choice\_BOT와 one\_BOT가 생성됨을 알 수 있다. 그리고 UNIT\_INDEX는 source\_balance\_one 프레임의 unit\_term 슬롯에 따라 source로 정해진다.

Objective와 Constraint에 의해서 total\_cost\_BOT, source\_sum\_BOT, destination\_capacity\_BOT, destination\_choice\_BOT, 그리고 one\_BOT 등이 생성되었다. 이 프레임들의 슬롯값은 경험적이거나, 잘 알려진 생성 규칙(production rule)에 의해서 자동으로 만들어진다. 예를 들면, source\_sum\_BOT의 ATTRIBUTE는 destination\_volume과 assignment\_var로, SUMMATION\_INDEX는 destination으로 자동 생성될 수 있다. 나머지도 자동적인 생성 규칙(production rule)에 따라 진행해 나간다.

ATTRIBUTE는 VARIABLE과 CONSTANT로 구분해서 표현되는데, 여기서는 상위수준의 표현에서 plant\_assignment\_problem 프레임의 Decision 슬롯값이 assignment\_binary에 따라 기저수준의 TYPE은 binary이고, SYMBOL과 LINKED\_INDEX는 생성 규칙에 의해서 자동으로 만들어진다. 또한 INDEX 프레임은 상위수준의 표현에서 Node 슬롯값 중에서 NodeCluster\_2에 따라 source와 destination으로 결정되어진다.

## 5. HLRNET를 이용한 실험결과

HLRNET를 통신망 모형에 적용하기 위해서 본 연구에서는 지역 가입자 통신망(Local Access Network)에서 잘 알려진 텔리팩 문제(Telepак Problem)를 사용하였으며, 수학적인 모형은 아래와 같다[Gavish, 1991].

$$\text{Minimize } \sum_{i=2}^n \sum_{j \neq i}^n c_{ij} + x_{ij} + \sum_{i=2}^n \sum_{j \neq i}^n f_{ij}(y_{ij})$$

subject to

$$\sum_{j \neq i}^n y_{ij} - \sum_{j \neq i}^n y_{ji} = q_i, i=2, \dots, n$$

$$\sum_{j \neq i}^n x_{ij} = 1, i=2, \dots, n$$

$$y_{ij} \leq Q_{ij} x_{ij}, i=2, \dots, n, j=2, \dots, n, i \neq j$$

$$y_{ii} \leq Q_{ii} x_{ii}, i=2, \dots, n,$$

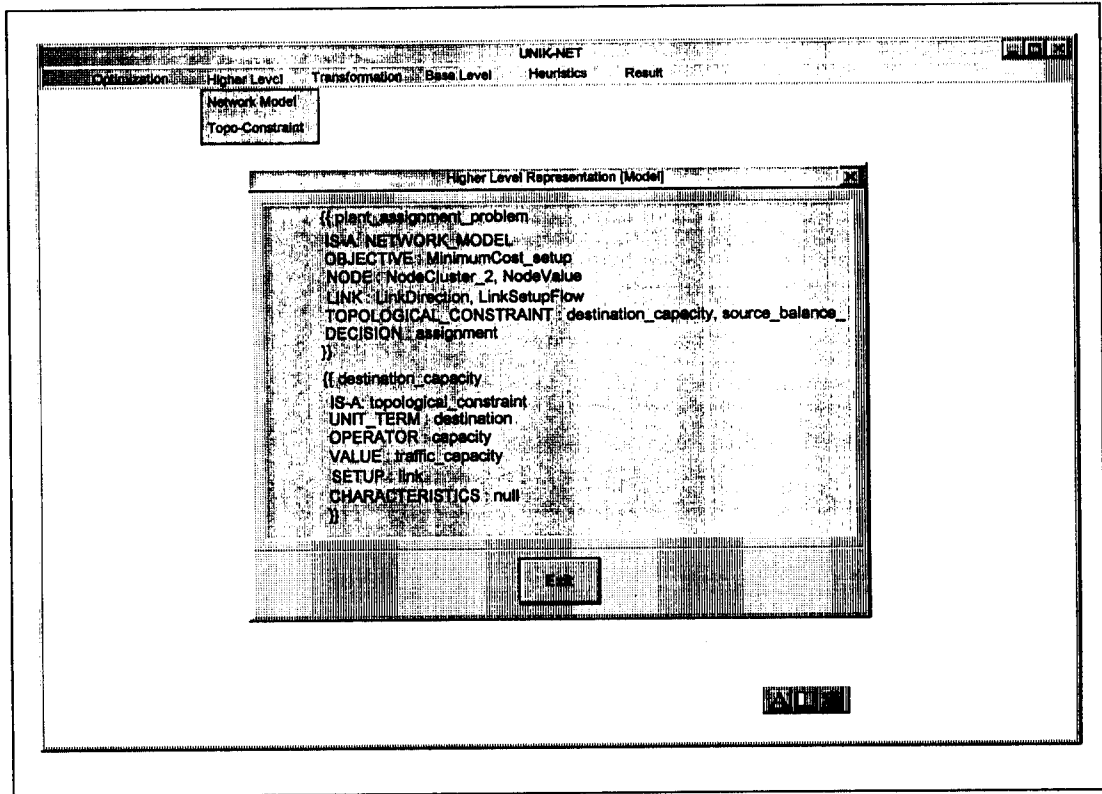
$$x_{ij} \in \{0, 1\}, y_{ij} \geq 0, \forall i, j$$

<그림 10>은 HLRNET 시스템이 텔리팩 문제를 상위수준에서 표현한 화면이다. 입력되는 데이터는 문제의 예로서 축소된 형태로 요약하여 HLRNET 시스템에서 운용하였다. <그림 11>는 텔리팩 문제의 입력 데이터이다. <그림 12>은 입력된 텔리팩 문제의 해를 구한 것을 보여주는 화면으로, 그 문제의 목적식의 최적값은 1493이며, 분기 6회에 탐색이 62회를 통해서 얻어졌음을 알려준다. 그리고 최적해는 변수 X2\_1와 Y2\_1를 나타내는 [2,1]의 값이 각각 1과 25를 나타낸다.

## 6. 결 론

상위수준의 모형화 과정, 상위수준에서 기저수준으로의 변환과정, 기저수준에서 해법에게 입력데이터를 넘겨주어 문제의 해를 구하는 과정등을 구현하기 위해서 우리는 HLRNET의 프로토타입을 구현하였다.

HLRNET는 UNIK 시스템 환경에서 개발되고 있는데, UNIK 하에서 여러 관련 시스템들간의 연결도 이루어진다. 관련되는 시스템들은 UNIK-OBJECT, UNIK-FWD, UNIK-OPT, 그리고 UNIK-RELAX 등이다[Lee et al., 1994; Kim



〈그림 10〉 Telepak Problem의 상위수준 표현을 나타낸 화면

and Lee, 1997]. HLRNET 시스템은 Windows 3.1에서 구동되는 시스템으로 Borland C++로 코딩되었다. 현재, 추가로 연구될 예정인 부분은 사용자가 표현한 상위수준의 프레임을 기저수준의 프레임으로 전환되는 과정과 그 표현된 프레임 가지고 통신망 모형과 같은 복잡한 혼합정수 모형의 해를 구하는데 매우 효율적인 Lagrangian relaxation 휴리스틱으로 연결시켜 주어 해를 구하는 과정을 덧붙여서 곧 구현할 것이다[Kim and Lee, 1997].

다양한 통신망 설계와 더욱더 복잡해지는 통신망 설계 모형, 그들 모형들을 풀기 위해 개발된 해법 중에서 효율적인 것을 선택, 그리고 계속적으로 연구되어지는 휴리스틱의 발전 등을 지원해 줄 수 있는 모형관리시스템의 필요성을 더욱 재

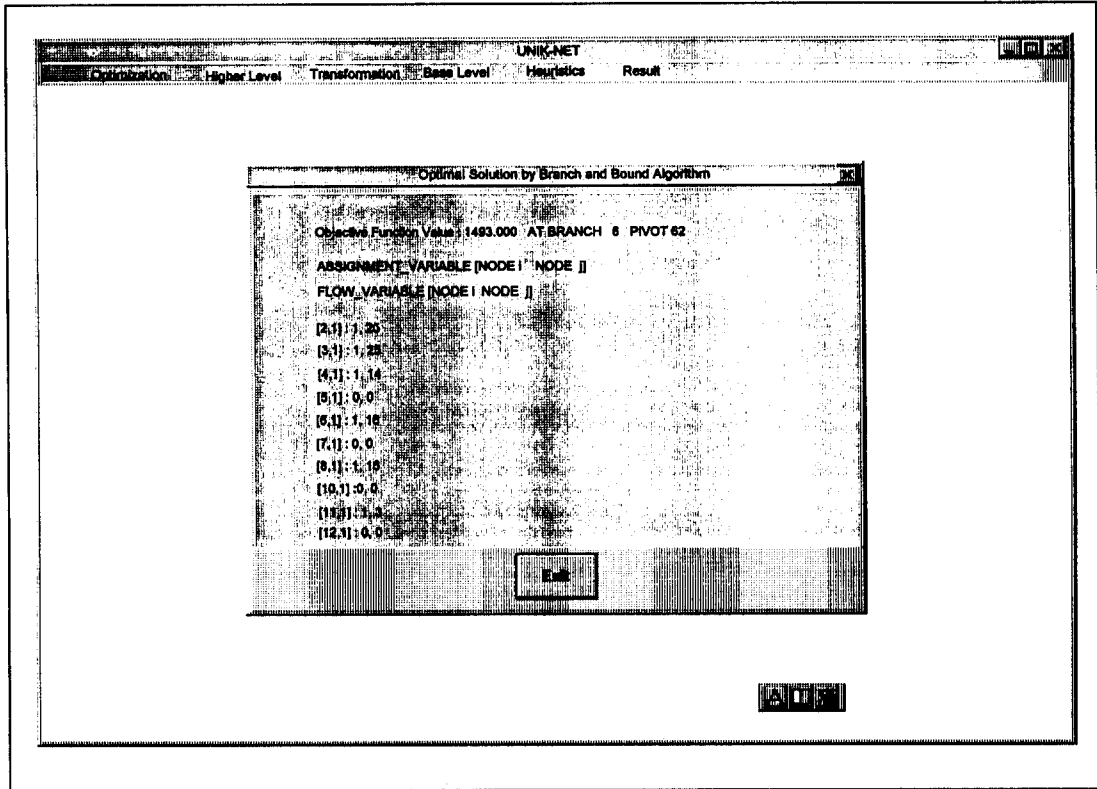
촉하고 있다. 본 시스템이 이러한 흐름에서 작은 역할을 하길 기대한다. 본 연구의 결과를 요약해 보면 다음과 같다.

- 1) HLRNET 시스템이 주요 부시스템으로 운용되는 과정을 설명하였다.
- 2) 통신망 모형에 대한 상위수준 표현 구조 및 상위수준 표현에 관하여 모형을 의미론적인 시각으로 표현되는 다섯 개의 특성자들을 정리하였다. 그리고 가장 많이 이용되는 전형적인 통신망 모형을 언급된 특성자들에 의해서 표현됨을 보였다.
- 3) 통신망 모형을 상위수준에 의해서 모형화하는 추론과정을 제안하였다.

Link 요소 (i, j)	Link 설치비용 ( $c_{ij}$ )	통화량 전송비용( $a_{ij}$ ) ( $f_{ij} = a_{ij} * y_{ij}$ )	Link 용량제한 ( $Q_{ij}, Q$ )
(2, 1)	60	6	30
(3, 1)	80	7	30
(4, 1)	70	9	30
(5, 1)	80	8	30
(6, 1)	60	9	30
(7, 1)	80	8	30
(8, 1)	90	10	30
(10, 1)	130	20	30
(11, 1)	150	8	30
(12, 1)	120	13	30
(13, 1)	130	15	30
(9, 2)	40	5	15
(10, 2)	30	4	10
(11, 2)	60	5	10
(12, 3)	10	2	10
(13, 3)	30	4	10
(5, 4)	10	2	15
(13, 4)	40	4	10
(14, 4)	40	5	10
(14, 5)	50	5	10
(7, 6)	10	2	20
(14, 6)	30	4	15
(13, 7)	40	5	15
(9, 8)	30	3	20
(10, 9)	10	2	10
(11,10)	30	4	20

Node 요소	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
통화량( $q_i$ )	6	8	6	3	4	7	6	10	9	3	10	7	5

〈그림 11〉 텔리팩 문제의 입력 데이터



〈그림 12〉 Telepak Problem의 Optimal Solution을 보여주는 화면

### 참 고 문 헌

- [1] Ahuja, R.K., T. L. Magnanti, J. B. Orlin, Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications, *Prentice-Hall*, (1993).
- [2] Bhargava, H. K., and R. Krishnan, Computer-aided Model Construction, *Decision Support Systems* 9(1), (1993).
- [3] Bisschop, J. J. and C. A. C. Kuip, Hierarchical Sets in Mathematical Programming Modeling Languages, *Computational Optimization and Applications*, Vol 1, No 4, (1994).
- [4] Cambell, J. F., Integer Programming Formulations of Discrete Hub Location Problems, *EJOR*, 72, (1994).
- [5] Chang, M, Design of Model Class Library for Communication Network Decision Problems, Thesis of Master, *Pohang University*, (1994).
- [6] Dincvas, M., H. Simonis, and P. Van Hentenryck, Solving Large Combinatorial Problem in Logic Programming, *J. of Logic Programming*, 8, (1990).
- [7] Dutta, A., and J. Lim, "Multiperiod Capacity Planning Model for Backbone Computer Communication Networks, *Operations Research* 40, (1991).
- [8] Fourer, R., Modeling Languages versus Matrix Generators for Linear Programm-

- ing, *ACM Transactions on Mathematical Software* 9, (1983).
- [9] Gavish, B. P., Topological Design of Telecommunication Networks-Local Access Design Methods, *Annals of Operations Research* 33, (1991)
- [10] Gavish, B. P., M. Dror, M. Gendreau, and L. Mason, Fiberoptic Circuit Network Design under Reliability Constraints, *IEEE J. on Sel. Areas in Communications* 7, (1989).
- [11] Geoffrion, A. M., The SML Language for Structured Modeling: Level 1 and 2, *Operations Research*, Vol 40, (1992).
- [12] Geoffrion, A. M., The SML Language for Structured Modeling: Level 3 and 4, *Operations Research*, Vol 40, (1992).
- [13] Glover, F., D. Klingman and N. V. Phillips, Netform Modeling and Applications, *Interface* 20(4), (1990).
- [14] Jones, C. V., An Integrated Modeling Environment Based on Attributed Graphs and Graph-Grammers, *Decision Support Systems*, 10, (1993).
- [15] Kendrick, D. A., A Graphical Interface for Production and Transportation System Modeling: PTS, *Computer Science in Economics and Management*, 4, (1991).
- [16] Kershenbaum, A., Telecommunication Network Design Algorithms, *McGraw Hill*, (1993).
- [17] Kim, Chulsoo, A Study on Higher Level Representations of Network Models for Optical Fiber Telecommunication Networks Design, appear in *Journal of MIS Research*, (1996).
- [18] Kim, Chulsoo, and Jae K. Lee, UNIK-RELAX : A Generator of the Lagrangian problem and Its Application to Data Allocation Models, *Expert Systems with Applications* Vol. 12(3), (1997).
- [19] Lee, Jae K. and M. Y. Kim, Knowledge-Assisted Optimization Model Formulation: UNIK-OPT, *Decision Support Systems* 13, (1995).
- [20] Lee, Jae K. et al, UNIK User Manual, Intelligent Information System Laboratory in Korea *Advanced Institute of Science and Technology*, (1994).
- [21] Ma, P., F. H. Murphy, and E. A. Stohr, A Graphics Interface for Linear Programming, *Communications of the ACM* 32(8), (1989).
- [22] McAloon and C. Tretkoff, 2LP: linear Programming and Logic Programming. In V. Saraswat and P. Van Hentenryck, eds, Principles and Practice of Constraint Programming, *The MIT Press*, Cambridge, MA, (1995).
- [23] McBride, R. D., NETSYS - A Generalized Network Modeling System, Technical Report, *University of Southern California, Los Angeles, CA*, (1988).
- [24] Monma, C. L., and B. S. Munson, Minimum-Weight Two-Connected Spanning Networks, *Math. Programming* 46, (1990).
- [25] O'Kelly, M., A Clustering Approach to the Planar Hub Location Problem, *Annals of OR* 40, (1992).

- [26] Puget, J. F., A C<sup>++</sup> Implementation of CLP. *Proceedings of SPICIS 94: The Second Singapore International Conference on Intelligent Systems*, (1994).
- [27] Steiger, D., and R. Sharda and B. Leclaire, Graphical Interfaces for Network Modeling: A Model Management System Perspective, *ORSA Journal on Computing* 5, (1993).
- [29] Stohr, E., and M. R. Tanniru, A Database for Operations Research Models, *Int. J. Policy Anal. Infor. Syst.* 4, (1980).