

네트워크 분석을 위한 지식기반형 모형기 개발

이호창*

On Knowledge-based Modeler for Network Analysis

Hochang Lee*

ABSTRACT

This paper is concerned with a conceptual design of a knowledge-based modeler for network analysis. The "knowledge-based modeler" approach is suggested as a method for incorporating the user's qualitative knowledge and subjective decision in the course of the mathematical modeling and the subsequent solution procedure. The submodules of the proposed modeler such as database, model/algorithm base and functional knowledge bases are identified and the flows of information between the submodules are sequentially defined. A prototype system is implemented for experimental purpose by using the application software GURU.

1. 서론

각종 수학적 도구를 응용하여 기업 및 사회 전반 분야의 문제들을 가능한 모형화하고 이를 풀어서 그 결과가 효율적 경영을 위한 의사결정에 도움이 되도록 하는 것이 경영과학의 주요 목적 중 하나이다. 이런 관점에서 볼때 현실문제의 경영과학적 접근 절차는 크게 세부분으로 나뉘어

지는데 이들은 ① 문제의 모형화, ② 모형의 풀이, ③ 모형결과의 현실적 해석과 적용이다. 여기서 중요한 것은 이상의 세가지 단계가 서로 유기적 연관 관계를 갖기 때문에 각 단계들간의 균형적인 타협을 통해서 만이 복잡한 현실문제의 경영과학적 접근이 그 실효성을 갖는다는 사실이다. 모형화 단계에서 실제 문제를 어느 정도로 단순화하고 정량화하는가 또는 어느 정도의 비현실적

* 경희대학교 사회과학대학 경영학과
이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

인 조건들을 가정하는가에 따라 모형의 수학적 해결 가능성(solvability, tractibility)이 결정되며 모형결과의 현실적 재해석과 그 적용이 달라지게 된다.

좋은 모형의 기준을 일반적으로 정의할 수는 없지만 수학적으로 그 해결이 보장되는 범위내에서 또는 모형결과가 요구되는 시간적 제약조건하에서 가장 현실적이고 가정 조건이 없는 모형이 바람직한 것은 사실이다. 이와 더불어 현실문제에는 불확실한 모형계수 또는 전문가의 주관적인 판단기준이나 가치관에 의해 정해지는 중간 의사결정 등 모형화하기 어려운 비정형(unstructured), 비정량적(qualitative)인 제약조건과 환경들이 산재하는 것이 일반적이다. 따라서 가장 바람직한 경영과학적 문제 해결 절차는 단순화된 정형적 모형의 결과만을 사후에 임의로 판단하거나 수정하여 의사결정 과정에 정량적으로 참조하는 식을 벗어나 모형결과의 해석 과정뿐만 아니라 사전에 모형수립과 그 풀이 과정에도 사용자나 전문가의 주관적 판단이 적용되도록 진행되어야 한다.

본 연구의 목적은 현실 문제의 비정형적, 비정량적 요인의 모형화 과정을 도와주고 모형결과의 해석에 전문가의 지식이나 사용자의 주관적인 판단이 효과적으로 반영되도록 하는 지식기반형 모형기(knowledge-based modeler)의 구축을 위한 개념적 틀을 제시하고 이를 최단거리문제, 수송문제, 최소비용흐름문제 등의 네트워크 흐름분석 문제에 응용하여 최종적으로 네트워크분석을 위한 지식 기반형 의사결정지원 시스템(knowledge-based decision support system)으로의 발전 가능성을 모색하는 것이다.

2. 연구배경

경영과학적 기법에 의한 최적화 모형과 비정량

적 지식 기반형 의사결정 지원 시스템과의 접목은 1980년대 후반에 접어들면서 여러 분야에서 활발히 연구되어 왔다.

경영과학 분야에서는 주로 수학적 모형의 인식과 저장을 중심으로하는 모델베이스, meta-OR approach 라고 불리는 정성적 모형화 절차(Zahedi, 1990)와 자동 모형화 도구(automatic formulation) (Sklar, 1987)에 관한 연구가 개념적 정의와 기반 이론 중심으로 진행되어 왔다. 이러한 일련의 연구는 크게 모형화 절차를 돕는 도구의 개발과 모형을 분류, 저장, 통합하는 모형관리 시스템(model management system)으로 구분된다.

GAMS, LINDO, AMPL 등의 모형화 언어(modeling language)는 최적화 문제의 모형화 절차를 도와주는 언어로서 MPSX와 같이 사전에 주어진 입력 형식에 맞추어 특정의 알고리즘을 수행하는 행렬 발생기(matrix generator)와는 달리 무정형의 입력 및 알고리즘과의 독립성으로 인하여 모형화 절차가 매우 간단하고 유연하다. 그러나 이를 이용하기 위해서도 행렬 발생기와 마찬가지로 정성적 수리문제의 구조를 파악하고 이를 집약적인 수학적 표현으로 옮겨 놓을 수 있는 사용자의 전문적 능력이 요구된다. 구조적 모형화 언어(structured modeling language) (Geoffrion, 1987, 1989)는 수리모형의 수학적 구조와 함께 의미적(semantic) 구조를 동시에 표현할 수 있는 계층적 구조를 갖는 통일된 모형화 언어이다. 이 역시 도메인 지식을 활용하지 못하기 때문에 사용자에게 의해 주어진 언어 구조의 틀 안에서 문제의 모형화 절차가 수행 되어진다.

문제 도메인 지식과 정식화 지식을 이용하는 지식 기반형(knowledge-based) 모형화 도구들이 LP 문제를 중심으로 활발히 연구되고 있다. 그중 Bhargava와 Krishnan(1990, 1993)가 개발한

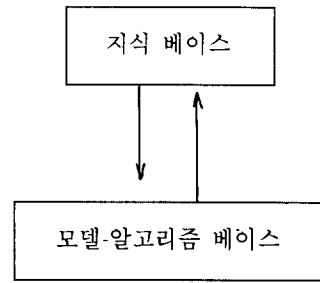
PM은 특정 도메인 지식을 이용한 정성적인 추론과 모형화 지식을 이용하여 생산계획 문제의 LP 모형을 수립하였다.

도시계획 분야에서는 지리정보시스템 (Geographic Information System)을 중심으로 행정적, 법률적 제도에 관한 전문가 시스템과 수학적 지리정보 분석모형이 매우 제한적인 범위에서 접속되어 통합 운용되고 있다 (Han, 1991). CIM이나 FMS 등과 같은 생산 시스템에서는 이미 총괄 생산계획, GT (KBGT: Knowledge-based System for Group Technology), 공구선정 (KBSES: Knowledge-based System for Equipment Selection), 설비배치 (KBML: Knowledge-based System for Machine Layout), 일정 계획 (KBSS: Knowledge-based System for Scheduling) 분야에 지식베이스를 활용하여 정성적 의사결정 요인들을 검토, 활용하고 있다 (Kusiak, 1990).

최적화 모형에 의한 계량적 해법은 모형에 필요한 자료가 불충분하거나 모형의 응용범위가 제한된 경우, 혹은 알고리즘의 수학적 복잡도(complexity)가 일정 한계를 넘는 경우에 최적해를 제공하지 못하게 되는데 이때 문제의 도메인 지식을 활용하는 정성적 해법이 병행된다. 이러한 지식 기반형 모형기는 지식베이스와 모델-알고리즘 베이스와의 상호 작용에 의하여 정량적 방법과 정성적 방법을 교차해 가면서 최적해에 근접한 좋은 해를 빠른 시간내에 제공한다.

지식기반형 모형기의 구조 및 운용 형태는 하부 시스템들간의 상호작용 및 문제 풀이 과정에 따라서 다음의 몇 가지로 구분될 수 있으며 실제 시스템의 구성은 이들 중 몇 가지의 조합형태로 구현될 수 있다.

① 데이터 조정 시스템(data-modifying system) 모형이 필요로 하는 자료를 데이터 베이스와



<그림 1> 지식 기반형 모형기의 개념

같은 원시자료로부터 선별하여 가장 경제적인 형태로 가공, 공급함으로써 문제규모와 알고리즘의 복잡도를 줄인다.

- ② 모델 베이스 시스템 (model-base system)
지식 기반형 시스템은 주어진 문제의 구조를 인식하고 그에 적절한 모델과 해법을 선택하여 그 알고리즘에 따라 문제를 푼다. 구해진 해가 타당성을 가지면 시스템은 이를 수용한다. 그렇지 않으면 알고리즘의 각종 모수들을 조정하여 타당한 해의 도출을 다시 유도하지만 알고리즘의 모수변형이 불가능 할 경우 도메인 지식을 이용한 정성적인 해의 수정과정을 통하여 타당한 해를 도출하게 된다.
- ③ 모델 구축 시스템 (model-building system)
이용 가능한 모델베이스로부터 주어진 문제에 맞는 모형을 선정하고 알고리즘을 적용하여 해를 구한다. 알맞은 알고리즘을 구하지 못하면 이에 맞게 모형을 고치거나 새로운 모형을 구축한다. 모형의 변경이 더이상 불가능하게 되면 주어진 알고리즘내에서 모수의 변형을 통하여 타당한 가능해를 도출한다.
- ④ 알고리즘 구축 시스템 (algorithm-building system)
문제풀이 도중에 지식 베이스가 알고리즘과 밀접한 상호작용을 하여 새로운 탐색방향을 제시하는 등 풀이과정 전개를 제어한다.

3. 지식기반형 모형기의 개념적 설계

네트워크분석을 위한 지식기반형 모형기는 응용소프트웨어 개발도구인 GURU(1987)를 이용하여 시험적으로 개발되며 ① 전문가 시스템, ② 데이터베이스, ③ 모델/알고리즘베이스, ④ 전자계산지(spreadsheet), ⑤ 그래픽기관 등 5개의 하부 모듈을 포함한다. 전문가 시스템은 사용자인터페이스, 추론기관과 기능별 지식베이스(모형선정과 휴리스틱 해법을 위한 지식베이스, 모형계수 산정을 위한 지식베이스, 모형결과의 타당성 평가를 위한 지식베이스)로 구성된다. 데이터베이스는 분석대상이 되는 네트워크의 자료, 예를 들어 지점들의 위치, 지리적 환경, 행정구역, 거리, 연결여부, 운송용량, 노폭, 도로상태, 운송비용 등을 관계형 자료로 저장한다. 모델/알고리즘 베이스는 필요에 따라 사용할 수 있는 최단경로문제, 최단절침나무문제, 최소비용/최대유량 문제 등과 같은 네트워크 분석문제의 알고리즘 및 상용 solver들을 포함하며 계산지와 그래픽 모듈은 결과의 입출력과 중간 자료의 정리와 계산을 위한 사용자와 친숙한 창구(user-friendly channel)를 제공한다.

예를 들어 전국의 도로망과 도시 및 그 특성들을 포함한 데이터베이스와 운송비용 산정 및 운송경로 평가를 위한 전문가 시스템을 최단경로문제의 알고리즘과 함께 단일 모형기로 통합하여 “인구 40만 미만의 도시를 대상으로 충청북도를 거치지 않는 국도만을 통해서 서울과 부산간의 경로중 운송비용과 도로조건등을 감안한 가장 현실성 있는 경로를 찾는일”을 수행한다면 다음과 같은 이점들을 기대할 수 있을 것이다.

① 지형, 도시 및 도로조건 등 사용자의 여러가지 요구조건들에 부합되는 문제자료들만이 데이

터베이스로부터 선별되어 모형기로 이송됨으로써 알고리즘이 풀어야할 문제의 크기를 대폭 줄여주며 다양한 제약조건을 갖는 모형화 작업이 사용자에게 의한 사전 자료처리 단계를 거치지 않고 신속하게 이루어 진다.

② 수송비 산정 등과 같은 전문가의 직관과 경험이 필요한 모형의 계수 조정작업이 사용자와의 직접적인 대화를 통하여 효율적으로 이루어진다.

③ 모형의 결과에서 제시하는 방안의 현실성과 타당성을 검토하고 그 결과를 사용자에게 쉽게 설명한다.

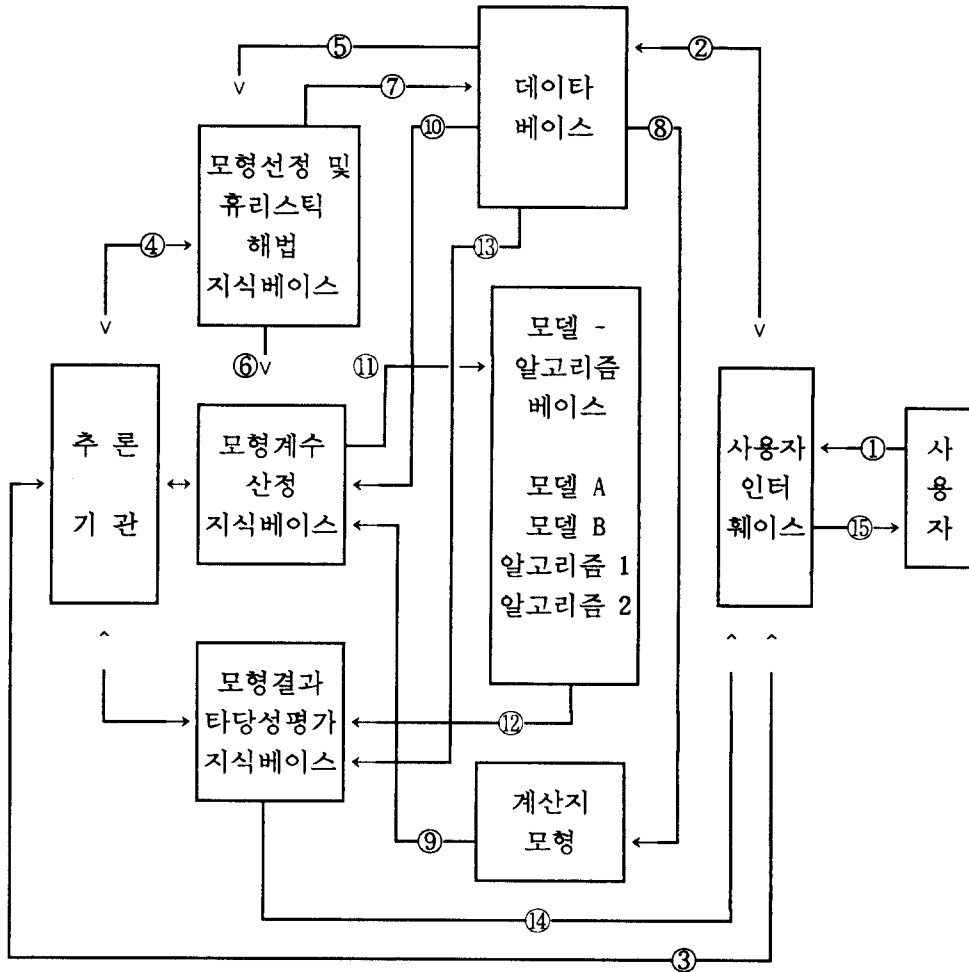
모형에 의한 분석 결과를 사용자가 쉽게 이해할 수 있도록 그림으로 표시하는 그래픽기능과의 접속은 물론이며 모형화에 익숙치 않은 사용자를 위한 도움말과 같은 친숙한 사용자 인터페이스의 고안 뿐만 아니라 최적화 문제의 휴리스틱 해법을 위한 지식베이스와의 접속도 모색된다.

아래의 <그림 2>는 지식 기반형 모형기의 각 구성요소와 그들간의 상호관계 및 정보흐름을 보여 준다. 그림의 ①부터 ⑮까지의 숫자는 구성요소간의 정보흐름을 순차적으로 표시한 것으로 이를 설명하면 다음과 같다.

① 시스템 사용자는 메뉴나 대화식 창구와 같은 쉽고 편리하게 사용할 수 있도록 고안된 사용자 인터페이스를 통하여 데이터베이스나 전문가 시스템의 추론기관에 접근한다.

② 사용자는 사용자 인터페이스를 통하여 지식 기반형 모형기에서 필요로하는 각종 자료들을 입력하거나 갱신하며 때에 따라서는 특정조건에 맞는 자료만을 검색해 보는 등의 기본적인 데이터베이스 관리기능을 수행한다.

③ 대화식 창구를 통하여 각 부분별 지식베이스를 사용하기 위한 사전 질의, 응답을 추론기관과 대화한다.



<그림 2> 지식 기반형 모형기의 구성요소 및 정보 흐름도

- ④ 지식 기반형의 휴리스틱 해법에 의해 모형화 전단계에서 정성적 제약조건들을 감안하고 이에 따라 수학적 모형의 해공간(solution space)을 줄임으로써 모형 풀이 시간을 단축한다. 이에 따른 추론들에 필요한 지식을 위하여 휴리스틱 해법 지식베이스에 접근한다.
- ⑤ 모형선택 및 휴리스틱 해법 지식베이스에 필요한 각종 자료들의 공급은 사용자에게 의하여 수시로 관리되는 데이터베이스로부터 공급된다.
- ⑥ 모형선택 및 휴리스틱 해법 지식베이스에 의하

- 여 차후 분석대상이 되는 부분 네트워크가 선정된다. 이 네트워크 분석을 위한 최적화 모형에 필요한 각종 자료 및 계수들(수송비용, 거리, 물동량 등)을 산정하기 위하여 추론기관을 통해서 모형계수 산정 지식베이스에 접근한다.
- ⑦ 모형선택 및 휴리스틱 해법에 의한 예비심사의 결과가 계수산정 지식베이스에 접근함과 동시에 같은 결과가 데이터베이스에 전달되면서 선정된 분석대상의 네트워크에 관한 자료들을 검색한다.

- ⑧ 데이터베이스로부터 추출된 분석대상의 네트워크에 관한 정량적 기초자료(지리적 정보, 교통현황, 도로상황 등)들이 계산지 모형에 전달되어 최적화 모형에 필요한 최종의 계수들이 계산되어 진다.
- ⑨ 계산지 모형에서 계산되어진 네트워크에 관한 정량적 모형 계수들이 모형계수 산정 지식베이스에 전달된다.
- ⑩ 변환이나 재구성이 필요없는 네트워크 자료들은 계산지모형을 통하지 않고 직접 계수산정 지식베이스에 전달된다.
- ⑪ 수합된 각종 네트워크 모형자료들이 추론기관을 통한 정성적인 조정을 거쳐 모델베이스에 전달된다. 물론 이 경우에도 사용자 인터페이스를 통한 사용자와의 질의와 계수산정 지식베이스에 의한 자문과정을 거치게 된다.
- ⑫ 각 사용자의 요구에 따른 네트워크 분석이 수행되어 그 결과가 타당성이 있는가를 검증받기 위하여 추론기관을 통하여 모형결과 타당성 평가 지식베이스에 접근한다.
- ⑬ 모형결과의 타당성을 평가하기 위하여 필요한 각종자료들이 데이터베이스로부터 공급된다.
- ⑭ 데이터베이스로부터 공급된 각종자료와 사용자와의 질의 및 타당성평가 지식 베이스에 의한 자문과정을 거쳐 수정된 최종의 네트워크 분석 결과가 그래픽 유틸리티나 계산지와 같은 사용자 인터페이스에 전달된다.

- ⑮ 최종 분석 결과가 그래픽이나 체계적인 보고서 등과 같이 네트워크의 구조가 쉽게 파악될 수 있는 형태로 시스템 사용자에게 전달된다.

4. 네트워크분석 모형과 알고리즘

네트워크는 노드(node)와 이들을 연결하는 아크(arc)로 구성된다. 아크는 흐름의 방향에 따라 유향 아크와 양방향의 흐름이 허용되는 무향 아크로 구분된다. 각 아크는 이를 따라 흐르는 물량의 상한과 하한 값을 가질 수 있으며 아크의 길이 즉 연결 노드간의 거리, 또는 단위물량의 흐름비용등을 아크의 값으로 가질 수 있다.

네트워크 분석은 노드와 아크로 구성되어 있는 망위의 흐름에 관한 수학적 분석을 총칭한다. 이의 응용은 전기, 통신, 교통, 상하수도 등과 같이 물리적 네트워크 흐름이 외형적으로 파악될 수 있는 것에서 부터 조합, 매칭, 할당, 시설유지 보수문제 등과 같이 논리적 망구조를 갖는 것에 까지 그 범위가 방대하며 이를 위한 수학적 모형과 그에 따른 해법 또한 매우 다양하다. 그러나 이들 분석모형들은 기본 모형구조에서 몇 가지 주변 제약조건들을 추가, 변형함으로써 표현이 가능하다. 노드조합 N 과 아크조합 A 로 구성되는 네트워크 $G=(N, A)$ 의 설계 및 흐름분석을 위한 기본모형 (P) 는 다음과 같이 표현된다.

$$(P) \text{ minimize } \phi(f, y) \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i \in N} f_{ij}^* - \sum_{i \in N} f_{li}^* = \begin{cases} R_k & \text{if } i=O(k) \forall k \in K \\ -R_k & \text{if } i=D(k) \forall k \in K \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2), (3), (4)$$

$$f_{ij} \equiv \sum_{k \in K} f_{ij}^* \leq K_{ij} y_{ij} \quad \forall (i, j) \in A \quad (5)$$

$$(f, y) \in S \quad (6)$$

$$f_{ij}^k \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A, k \in K \tag{7}$$

$$y_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in A \tag{8}$$

여기서 f_{ij}^k 는 i 에서 j 로 흐르는 k 품목의 양을 말하며 y_{ij} 는 노드 i 와 j 가 연결되었을때 1 의 값을 갖는다. 즉 결정변수 $y = \{y_{ij}\}$, $f = \{f_{ij}^k\}$ 는 각각 네트워크 설계변수와 네트워크 흐름변수를 말한다. $O(k)$, $D(k)$ 는 각각 흐름의 근원점과 최종 도달점을 말하며 R_k 는 품목 k 의 흐름양이다. 제약식 (2), (3), (4)는 각각 시점, 종점, 그 이외의 노드에서 흐름이 보존되어야 함을 의미한다. 제약식 (5)는 노드 i 와 j 간에 물류가 흐르기 위해서는 아크가 구축되어야 함을 의미하며 제약식 (6)은 부가적인 제약식의 조합 S 를 나타낸다. 주어진 네트워크에서의 단일품목 흐름분석을 위한 일반 모형 (P)는 아래와 같이 추약된다.

$$(P0) \text{ minimize } \phi(f)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in N} f_{ij} - \sum_{i \in N} f_{ji} = \begin{cases} R & \text{if } i=O \\ -R & \text{if } i=D \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$L_{ij} \leq f_{ij} \leq U_{ij}$$

$$f_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A$$

여기서 L_{ij} , U_{ij} 는 각각 흐름의 하한과 상한값을 나타낸다.

네트워크 흐름분석을 위한 모형들과 그들의 상호연관 관계는 다음과 같다.

① 할당문제 (assignment problem) [HUNG]

주어진 목적함수를 최적화하기 위하여 할당 대상의 객체 O 를 할당처 D 에 배정하는 문제이다. 할당문제에 있어서 $O \cup D = N$, $O \cap D = \phi$ 이며 $R=1$ 이다. 선형의 비용함수 $\sum c_{ij} f_{ij}$ 를 최소화하

는 할당문제 (P1)는 다음과 같다.

$$(P1) \text{ minimize } \sum_{i,j \in A} c_{ij} f_{ij}$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in N} f_{ij} - \sum_{i \in N} f_{ji} = \begin{cases} 1 & \text{if } i=O \\ -1 & \text{if } i=D \end{cases}$$

$$0 \leq f_{ij} \leq 1 \quad \forall (i, j) \in A$$

대표적인 해법으로는 Kuhn의 hungarian 알고리즘(1955)을 들 수 있다.

② 수송문제 (transportation problem) [VOGEL]

소비지의 수요(DEMAND_i)와 공급지의 공급량(SUPPLY_i)을 만족시키는 최소비용의 수송계획을 결정하는 문제이다. O 와 D 는 각각 공급지와 소비지를 나타내며 중간 연결 노드는 없다. $O \cup D = N$, $O \cap D = \phi$ 이다.

$$(P2) \text{ minimize } \sum_{i,j \in A} c_{ij} f_{ij}$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in N} f_{ij} - \sum_{i \in N} f_{ji} = \begin{cases} SUPPLY_i & \text{if } i=O \\ -DEMAND_i & \text{if } i=D \end{cases}$$

$$f_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A$$

Vogel의 초기해를 기초로한 primal simplex 알고리즘이 효과적이다.

③ 다단계수송문제 (transshipment problem) [KILTER]

단순 수송문제에서 오는 달리 공급지(O)와 소비지(D)간에 창고나 유통센터와 같은 중간 경유지(T)가 물량흐름을 연결시켜 준다. 단순 최소비용 흐름문제의 특수형태이다. $O \cup D \cup T = N$, $O \cap$

$D \cap T = \emptyset$ 이며 중간 경유지에서 물량흐름의 축적은 없다.

$$(P3) \text{ minimize } \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} f_{ij}$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in N} f_{ij} - \sum_{l \in N} f_{li} = \begin{cases} \text{SUPPLY}_i & \text{if } i=O \\ -\text{DEMAND}_i & \text{if } i=D \\ 0 & \text{if } i=T \end{cases}$$

$$f_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A$$

④ 최단거리문제 (shortest path problem) [DIJKSTRA]

네트워크상 주어진 두 점, 즉 시점(O)과 종점(D)사이의 최단 경로를 결정하는 문제이다. T는 시점과 종점을 제외한 네트워크 상의 모든 점을 말한다.

$$(P4) \text{ minimize } \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} f_{ij}$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in N} f_{ij} - \sum_{l \in N} f_{li} = \begin{cases} 1 & \text{if } i=O \\ -1 & \text{if } i=D \\ 0 & \text{if } i=T \end{cases}$$

$$0 \leq f_{ij} \leq 1 \quad \forall (i, j) \in A$$

비음의 거리(nonnegative distance)를 갖는 네트워크인 경우는 Dijkstra(1959)의 알고리즘이 효과적이다.

⑤ 최단결침나무문제(minimum spanning tree problem) [PRIM]

주어진 네트워크 상에서 모든 점들을 최단 거리로 연결(span)하는 나무(tree)형태의 네트워크를 설계하는 문제 (P5)이다. 이 문제는 네트워크 흐름 분석 모형군에 속하는 문제는 아니지만 네트워크 구축 모형중에서 완전히 풀리는 몇 안되는 쉬운 문제중의 하나이며 또한 그 응용범위가 흐름분석 문제와 유사하므로 이에 포함한다. Prim

(1957)의 알고리즘이 효과적이다.

⑥ 최대흐름문제 (maximum flow problem) [FORD]

네트워크상에 주어진 임의의 두점 O 와 D 사이의 최대흐름량을 결정하는 문제이다.

$$(P6) \text{ maximize } R$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in N} f_{ij} - \sum_{l \in N} f_{li} = \begin{cases} R & \text{if } i=O \\ -R & \text{if } i=D \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$L_{ij} \leq f_{ij} \leq U_{ij}$$

$$R \geq 0, f_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A$$

여기서 L_{ij}, U_{ij} 는 각각 흐름의 하한과 상한값을 나타낸다. Ford와 Fulkerson의 labelling 알고리즘(1962)이 효과적이다.

⑦ 단순 최소비용흐름문제 (pure minimum cost flow problem) [KILTER]

최소비용으로 노드들간에 주어진 출입량을 만족케하는 네트워크상의 흐름을 결정하는 문제이다.

$$(P7) \text{ minimize } \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} f_{ij}$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in N} f_{ij} - \sum_{l \in N} f_{li} = \begin{cases} R_i & \text{if } i=O \\ -R_i & \text{if } i=D \\ 0 & \text{if } i=T \end{cases}$$

$$L_{ij} \leq f_{ij} \leq U_{ij}$$

$$f_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A$$

Ford와 Fulkerson의 out-of-kilter 알고리즘(1962)이 가장 잘 알려져 있다.

⑧ 비보존 최소비용흐름문제 (minimum cost flow problem with gains) [CHRIS]

노드간 흐름량이 보존되지 않고 운송도중 늘어나거나 줄어드는 네트워크의 최소비용 흐름문제이다. 흐름의 유실이 있는 수도나 공정도중 스크랩이 발생하는 생산공정망이 대표적인 예이다.

$$\begin{aligned}
 (P8) \quad & \text{minimize } \sum_{i,j \in A} c_{ij} f_{ij} \\
 \text{s.t. } \quad & \sum_{j \in N} f_{ij} - \sum_{i \in N} a_{ij} f_{ji} = \begin{cases} R_i & \text{if } i=O \\ -R_i & \text{if } i=D \\ 0 & \text{if } i=T \end{cases} \\
 & L_{ij} \leq f_{ij} \leq U_{ij} \\
 & f_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A
 \end{aligned}$$

여기서 a_{ij} 는 아크 (j, i) 의 증감율을 나타내며 단순 최소비용흐름문제에서 이 값은 모든 아크에 대하여 1 이다. Christofides(1975)의 알고리즘이 효과적이다.

⑨ 볼록 비용을 갖는 단순 최소비용흐름문제 (pure minimum cost flow problem with convex costs)[EDMONDS]

흐름비용함수가 흐름량의 선형함수가 아닌 볼록 함수 (convex function)의 형태를 갖는 최소비용 흐름문제 (P9)이다. 전력 수송망에서 흔히 볼수 있는 예이다. [Edmonds와 Karp의 알고리즘 (1972)이 효과적이다.

⑩ 오목 비용을 갖는 단순 최소비용흐름문제 (pure minimum cost flow problem with concave costs)[JENSEN]

흐름비용함수가 흐름량의 선형함수가 아닌 오목 함수 (concave function)의 형태를 갖는 최소비용 흐름문제 (P10)이다. 고정비용(fixed cost)의 비용함수를 갖는 흐름 분석문제가 대표적인 예이다. 선형이나 볼록비용함수를 갖는 흐름분석문제에서는 부분 최적점(local minimum)이 전체 최

적점(global minimum)과 일치하지만 오목비용인 경우에는 일반적으로 이러한 조건이 성립하지 않기때문에 해법상 매우 어려운 문제가 된다. Jensen 과 Barnes의 implicit enumeration 알고리즘(1980)이 효과적이다.

5. 네트워크자료의 관리

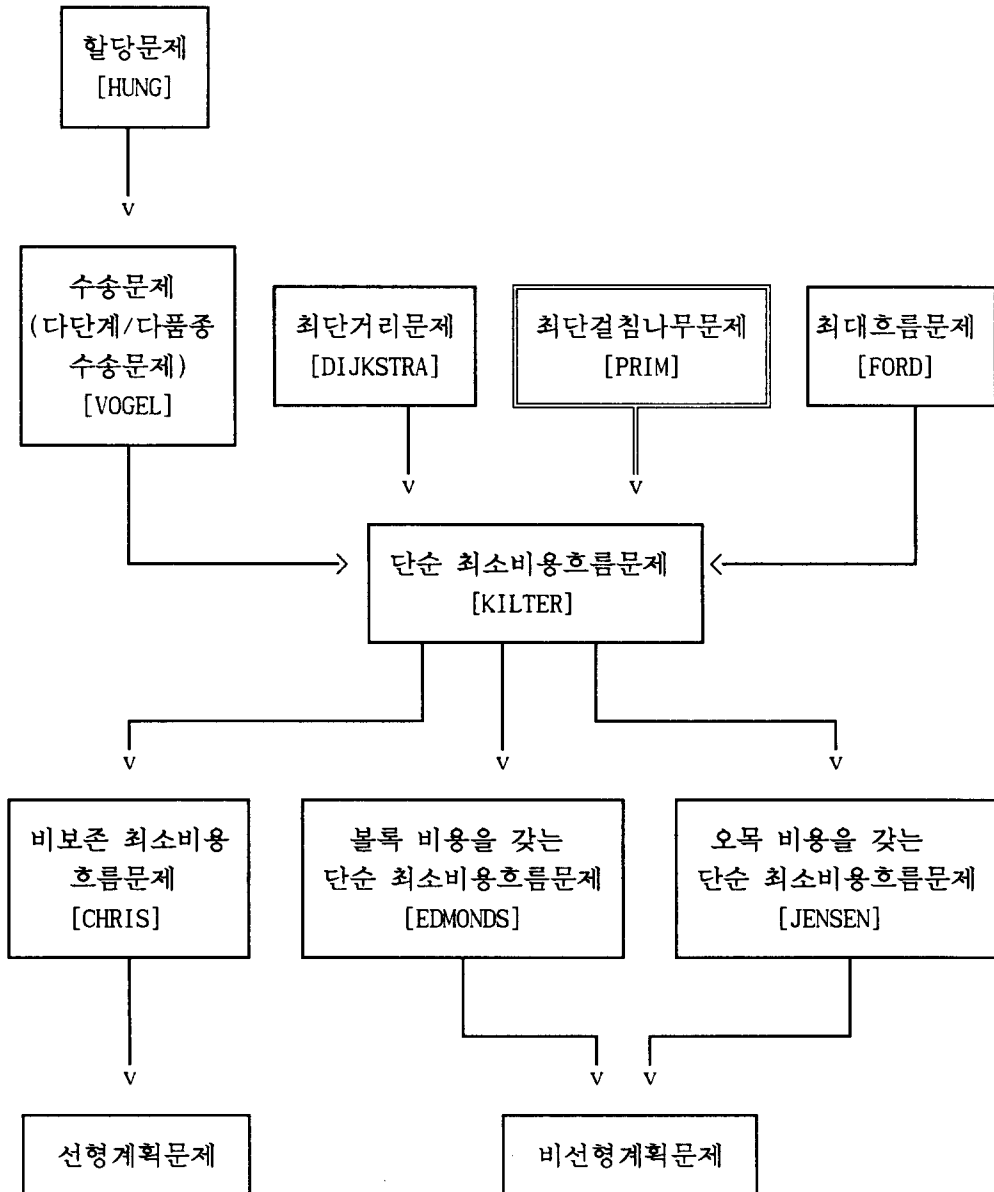
5.1 네트워크의 표현

좋은 알고리즘의 기준은 실행시간과 사용되는 메모리 공간의 크기이다. 이 두가지의 기준은 서로 상충관계에 있으므로 사용환경의 특성에 따라서 시간(time)과 공간(space)의 적절한 배분에 의하여 알고리즘이 디자인된다. 컴퓨터의 메모리 공간이 충분하거나 저렴한 비용으로 사용 가능한 경우에는 실행시간의 단축을 위해 메모리 사용공간이 확장되며 이와 반대의 경우에는 사용메모리의 축소를 위하여 알고리즘의 계산적 복잡도 (computational complexity)가 증가되는 것이 허용된다.

네트워크의 표현(network representation)은 네트워크의 구조를 나타내는 정수, 리스트 및 행렬들과 계산 알고리즘의 실행을 위한 각종 계수들의 조합을 말한다. 네트워크의 효율적 표현은 분석대상이 되는 네트워크의 규모가 커짐에 따라서 알고리즘의 성패를 결정짓는 주요 요소가 된다.

① 아크중심(arc-oriented)의 표현

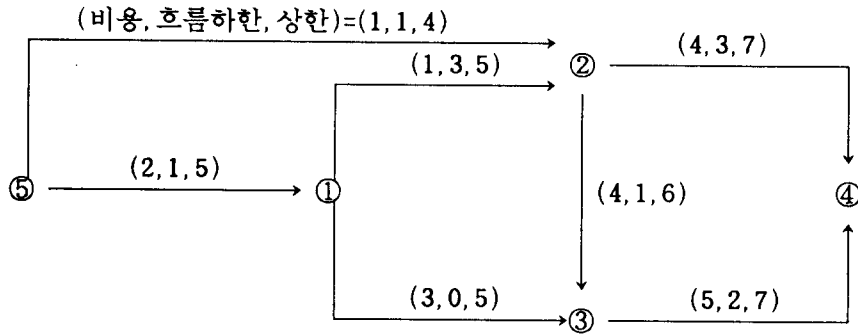
아크별 시점과 종점의 노드번호, 단위당 흐름비용, 흐름 용량 등의 계수자료를 리스트의 형태로 표현한 아크리스트(arc list)가 가장 보편적인 방법이다. 예로 든 <그림 4>의 네트워크에서 단위당 흐름비용과 흐름 상하한치가 다음과 같이 주어졌을때 아크 리스트는 아래와 같다.



〈그림 3〉 네트워크 분석 모형들의 상호연관 관계

<표 1> 흐름분석모형별 알고리즘과 입출력 자료

흐름분석모형	알고리즘	입력자료	출력자료
할당문제 (P1)	HUNG	비용행렬	할당행렬
수송문제 (P2)	VOGEL	비용행렬 수요량 / 공급량	총수송비용 수송계획
다단계 수송문제 (P3)	KILTER	비용행렬 수요량 / 공급량	총수송비용 수송계획
최단거리문제 (P4)	DIJKSTRA	네트워크의 구조 시점 / 종점	최단거리 최단거리경로
최단결침나무 문제 (P5)	PRIM	네트워크의 구조	최단결침나무의 형태
최대흐름문제 (P6)	FORD	네트워크의 구조 흐름의 상 / 하한 시점 / 종점	최대흐름량 흐름경로
단순 최소비용 흐름문제 (P7)	KILTER	네트워크의 구조 비용행렬, 흐름량 시점 / 종점	최소흐름비용 흐름경로
비보존 최소비용 흐름문제 (P8)	CHRIS	흐름변동계수 네트워크의 구조 비용행렬, 흐름량 시점 / 종점	최소흐름비용 흐름경로
단순 최소(블록)비용 흐름문제 (P9)	EDMONDS	비용함수 네트워크의 구조 비용행렬, 흐름량 시점 / 종점	최소흐름비용 흐름경로
단순 최소(오목)비용 흐름문제 (P10)	JENSEN	비용함수 네트워크의 구조 비용행렬, 흐름량 시점 / 종점	최소흐름비용 흐름경로



〈그림 4〉 네트워크의 예

〈표 2〉 아크 리스트

아크번호	1	2	3	4	5	6	7
시점노드번호	1	1	2	2	3	5	5
종점노드번호	2	3	3	4	4	1	2
흐름비용	1	3	4	4	5	2	1
흐름하한	3	0	1	3	2	1	1
흐름상한	5	5	6	7	7	5	4

② 노드중심(node-oriented)의 표현
 시점노드 i 와 종점노드 j 에 대하여 아크 (i, j) 의 각종 자료가 행렬의 형태로 표현되는 시점-종점 행렬 (origin-terminal matrix)에 의하여 네트워크의 구조가 표현된다. 이 행렬에 의한 표현은 각

노드가 모든 다른 노드에 연결되는 조밀한 구조를 갖는 네트워크인 경우 매우 효과적이나 노드수에 비해 아크의 연결이 비교적 적을때는 행렬의 표현공간이 낭비된다. 예로든 네트워크의 시점-종점 행렬은 다음과 같다.

〈표 3〉 시점-종점 행렬

시점노드(j) \ 종점노드(i)	1	2	3	4	5
1	***	(1, 3, 5)	(3, 0, 5)	***	***
2	***	***	(4, 1, 6)	(4, 3, 7)	***
3	***	***	***	(5, 2, 7)	***
4	***	***	***	***	***
5	(2, 1, 5)	(1, 1, 4)	***	***	***

5. 2 네트워크자료의 재생과 저장

네트워크분석을 위한 대부분의 알고리즘은 계산의 매단계마다 네트워크 구조에 관한 정보를 요구하는데 이를 매번 아크 리스트나 시점-종점 행렬로부터 계산하는 것은 매우 비효율적이다. 네트워크 기본자료로부터 그 연결구조에 관한 정보를 노드중심의 리스트로 작성하여 부가적으로 내부에 보관하는 것이 필수적이다. 즉 시점 중심의 아크 번호 리스트와 시점 포인터 리스트 (혹은 종점 중심의 아크번호 리스트와 종점 포인터 리스트)는 네트워크의 연결구조를 효율적으로 표현한다.

① 시점 중심의 아크 번호 리스트

노드번호에 따라 순차적으로 각 노드를 시점으로 하는 아크의 번호를 오름차순으로 매겨 나간다. 하나의 노드에서 다수의 아크가 출발하는 경우에는 종점 노드의 번호의 순서에 따라서 아크번호를 오름차순으로 부여한다. 즉 $o(k_1) < o(k_2)$ 이면 $k_1 < k_2$ 이고 $o(k_1)=o(k_2)$ 이면 종점이 되는 노드번호의 오름차순으로 아크의 번호를 결정한다. 여기서 $o(k)$ 는 아크 k 가 출발하는 노드의 번호를 말한다.

② 종점 중심의 아크 번호 리스트

노드번호에 따라 순차적으로 각 노드를 종점으로 하는 아크의 번호를 오름차순으로 매겨 나간다.

하나의 노드에 다수의 아크가 들어오는 경우에는 시점노드의 번호순에 따라서 아크번호를 오름차순으로 부여한다. 즉 $t(k_1) < t(k_2)$ 이면 $k_1 < k_2$ 이고 $t(k_1) = t(k_2)$ 이면 시점이 되는 노드번호의 오름차순으로 아크의 번호를 결정한다. 여기서 $t(k)$ 는 아크 k 가 도착하는 노드의 번호를 말한다.

③ 시점 포인터 리스트, $P_o = [p_o(i)]$

각 노드마다 그로부터 출발하는 아크들중 가장 작은 시점중심의 아크번호를 기입하되 출발하는 아크가 없을 경우에는 다음 노드의 아크번호와 동일하게 기입한다.

즉 $p_o(1)=1, p_o(i)=\{k | o(k) \geq i, o(k-1) < i\} \forall 1 < i \leq n, p_o(n+1)=m+1$ 이고 여기서 m 과 n 은 각각 네트워크에 포함된 아크와 노드의 갯수를 말한다.

④ 종점 포인터 리스트, $P_r = [p_r(i)]$

각 노드마다 그로 들어오는 아크들중 가장 작은 종점중심의 아크번호를 기입하되 출발하는 아크가 없을 경우 그 다음 노드의 아크번호와 동일하게 기입한다. 즉 $p_r(1)=1, p_r(i)=\{k | t(k) \geq i, t(k-1) < i\} \forall 1 < i \leq n, p_r(n+1)=m+1$ 이다.

위에 예로 든 네트워크에서 시점과 종점 중심의 아크번호 리스트 및 시점 포인터 리스트와 종점 포인터 리스트는 각각 다음과 같다.

<표 4> 아크번호 리스트

시점노드번호	1	1	2	2	3	5	5
종점노드번호	2	3	3	4	4	1	2
시점중심의 아크번호 리스트	1	2	3	4	5	6	7
종점중심의 아크번호 리스트	2	4	5	6	7	1	3

〈표 5〉 시점 포인터 리스트, $P_o = [p_o(i)]$

노드	1	2	3	4	5	6
P_o	1	3	5	6	6	8

〈표 6〉 종점 포인터 리스트, $P_r = [p_r(i)]$

노드	1	2	3	4	5	6
P_r	1	2	4	6	8	8

6. 지식 기반형 모형기의 시험적 구축

6.1 네트워크분석문제의 특성

네트워크분석 문제는 그 기본형이 수학적으로 잘 정의된 최적화문제이지만 하나 응용범위가 매우 넓기 때문에 실제 응용문제에 포함된 수학적 모형을 가려내기가 어렵다. 예를 들어 장비교체문제(equipment replacement problem)와 작업일정 산정문제(PERT/CPM)는 각각 최단거리문제와 최장거리문제로 정식화되지만 지도상의 선로나 통로 등으로 쉽게 표현, 연상되는 네트워크 모형의 속성때문에 OR/MS의 비전문가들이 물리적인 망 분석이외의 분야에서 네트워크 분석모형을 쉽게 응용하는 것이 용이하지 않다. 더구나 실제 네트워크 분석 응용문제에서는 기본적인 수학적 최적화문제 이외에 이에 추가적으로 부가되는 제약조건이 매우 다양하기 때문에 이들을 모두 최적화 모형에 수용하는 것은 계산상으로 비경제적일 뿐만아니라 수학적으로도 가능하지 않다. 이러한 경우의 해결방법으로 휴리스틱 해법을

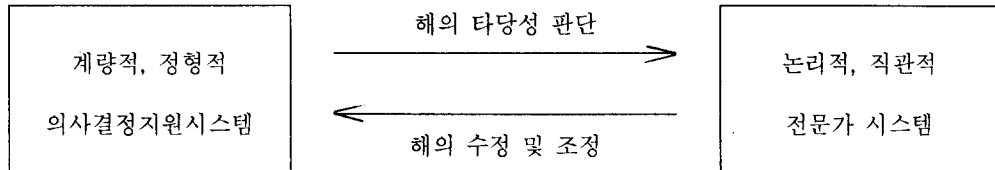
들 수 있는데 이는 종종 논리적이고 질적인 사고를 통한 사용자의 비정형화된 직관적인 판단을 요구하게 된다. 이와 같이 OR/MS 분야의 초보 사용자에게 있어 네트워크 분석문제가 갖는 특성은 아래의 몇가지로 요약된다.

- ① 실제문제가 갖고 있는 복합적인 네트워크 구조를 수학적으로 식별하고 이를 정식화하기가 어렵다
- ② 네트워크 분석문제에 관련된 수학적 모형과 그에 따른 해법이 매우 다양하다
- ③ 부가적인 제약조건이 실제문제의 경우에 따라 매우 다양하기 때문에 해의 검토와 개선을 위해 컴퓨터와 사용자간의 계속되는 피드백이 좋은 가능해를 도출해 내는데 필수적이다
- ④ 네트워크 자료가 매우 방대하고 복잡하기 때문에 데이터베이스를 통하여 이들을 효율적으로 관리하는 것이 필요하다
- ⑤ 수학적 최적해보다는 논리적이며 비정형화된 전문가의 직관적 판단에 의한 휴리스틱 해법에 의한 해가 더욱 경제적인 경우가 많다.

네트워크 분석문제의 특성에 따라 해의 도출을 위한 의사결정 방식은 다음의 〈표 7〉과 같이 다

〈표 7〉 네트워크 분석문제의 특성과 의사결정 방식

문제유형 지식 형태	정형 문제 (well-structured)	반정형 문제 (semistructured)	비정형 문제 (unstructured)
수치계산 위주의 계량적 지식	전자계산지 데이터베이스	모델베이스 운용 (최적화 모형)	의사결정지원시스템 (모형의·계수산정)
직관적 판단을 위한 논리적, 질적 지식	전문가 시스템 (휴리스틱 해법)	전문가 시스템 (해의 타당성 평가)	이외의 사용자 임의 의사결정 문제



〈그림 5〉 의사결정지원시스템과 전문가시스템의 교호작용

양하게 응용될 수 있다.

6. 2 지식 기반형 모형기의 구성

네트워크 분석을 위한 지식 기반형 모형기에는 〈그림 5〉에서 보는 바와 같이 수학적 모형에 기반한 계량적 계산위주의 반복적이고 정형화된 의사결정지원시스템뿐만 아니라 불완전한 수학 모형의 해에 대하여 전문가의 논리적인 직관적 판단을 내려주는 지식 기반의 전문가 시스템이 포함된다. 이들 두개 하부시스템간의 피이드백은 사용자가 만족하는 해가 도출될 때까지 계속되며 이의 효과적인 교호작용을 위해 데이터베이스, 전자계산지, 그래픽기관의 일차적 자료변환기능이 지원된다.

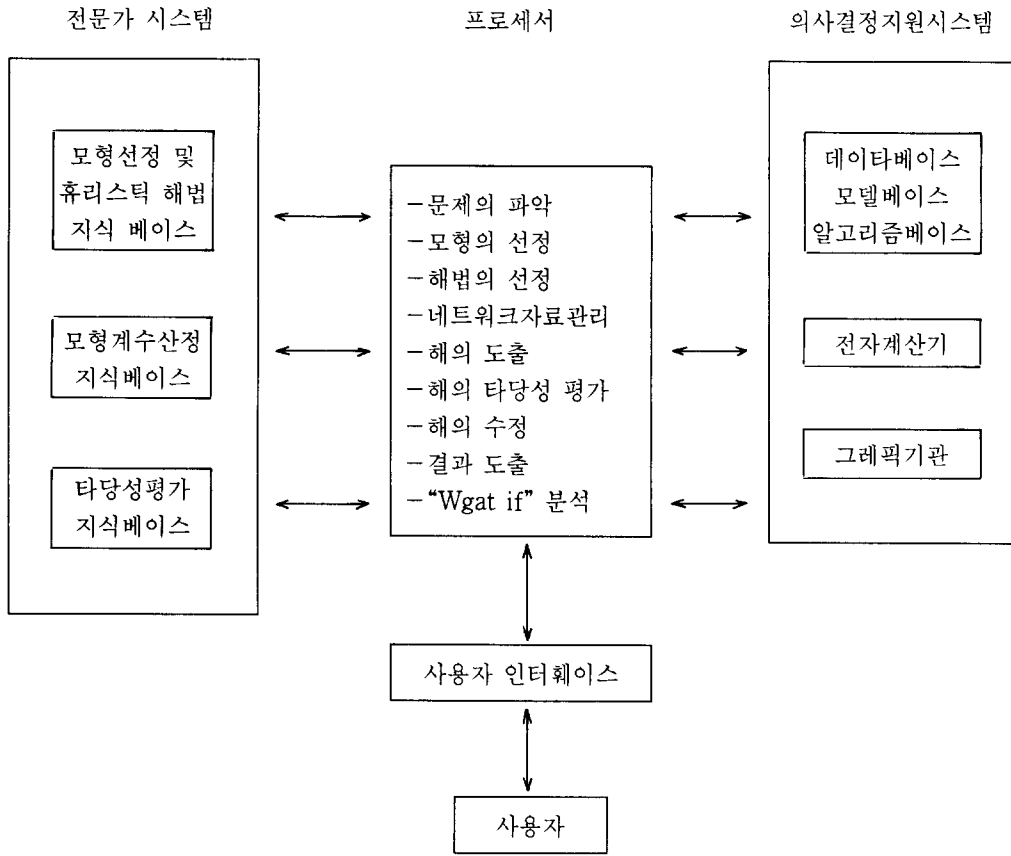
6. 3 의사결정 지원시스템

① 전자계산지

전자계산지는 네트워크 원시자료의 중간계산이나 가능해의 평가 시뮬레이션을 사용자 임의로 수행하도록 하는 보조도구로서 기존 계산지모형의 기능을 수행하며 데이터베이스, 전문가 시스템, 그래픽기관 등 다른 하부 시스템과의 자료전송이 자유롭다. 전자계산지는 표형태의 단순한 계산 뿐만 아니라 수학적 모형과 알고리즘을 통한 가능해들의 비교, 평가와 해의 변형에 따른 목적함수의 영향분석, 추가 제약조건에 따른 가능해의 변화 등 각종 민감도 분석을 위한 시뮬레이션 도구로서 유용하게 사용된다.

② 그래픽기관

그래픽기관은 데이터베이스로부터 받은 네트워크 자료로부터 망을 재구성하여 사용자에게 시각적으로 보여줌으로써 초보사용자로 하여금 해의 도출을 위한 직관적 판단 뿐만아니라 기존해의 평가를 쉽게 하도록 도와준다.



〈그림 6〉 지식 기반형 모형기의 구성

③ 데이터베이스

분석 대상이되는 네트워크의 각종 자료를 보관, 정리하고 이를 사용자와 모형의 요구에 따라서 가공하고 알고리즘, 전자계산기, 그래픽기관 등에 공급한다. 데이터베이스에 포함되는 자료로는 노드와 아크의 연결구조, 좌표, 흐름의 상하한, 흐름 비용, 거리, 노드와 아크에 작용하는 각종 제약조건 등 숫자 정보이외에 네트워크를 설명하는데 필요한 텍스트 데이터를 들 수 있다. 네트워크자료를 보관한 데이터 테이블명은 다음과 같으며 그 구조는 〈부록 1〉과 같다.

1. ARC_LIST : 아크리스트
2. ARC_NUM_LIST_INC : 시점 중심의 아

크 번호 리스트

3. ARC_NUM_LIST_DEC : 종점 중심의 아크 번호 리스트
4. ORIGIN_POINTER_LIST : 시점 포인터 리스트
5. TERMINAL_POINTER_LIST : 종점 포인터 리스트
6. ARC_DESCRIPTION : 아크 기타자료
7. NODE_DESCRIPTION : 노드 기타자료

④ 모델베이스

〈표 1〉에 정리되어 있는 바와 같이 네트워크의 분석 요구와 목적에 따라 (P1)에서 (P10)까지 10개

의 수학적 최적화모형을 저장한다. 모델베이스가 프레임(frame)의 형태로 저장하고 있는 네트워크

분석 기본모형 (P)를 예로 들면 다음과 같다.

(BASIC_MODEL

(OBJ_FUNC

(FLOW_CONSERV ((SOURCE) (SINK) (OTHER)))

(CONNECTIVITY) (ADDITIONAL) (FLOW) (ARC)))

여기서 (SOURCE), (SINK), (OTHER), (CONNECTIVITY), (ADDITIONAL), (FLOW), (ARC) 는 각각 제약식 (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8)을 말한다.

[COMMERCIAL SOLVER]: Kennington의 NETFLOW와 LINDO

[HEURISTICS]: 각 분석모형에 따른 휴리스틱 알고리즘

⑤ 알고리즘베이스

각각의 수학적 최적화 모형에 따라 다수의 알고리즘을 보관하여 사용자의 요구에 따라 이들을 제공한다. 수송문제나 공장입지문제와 같이 그 문제만을 위한 특별한 알고리즘 뿐만아니라 제약조건들이 더해짐에 따라 변해가는 부정형의 최적화모형을 풀기 위한 상용 solver 등도 이에 포함된다. 이에 포함된 알고리즘의 예는 다음과 같다.

[HUNG]: Kuhn의 hungarian 알고리즘

[VOGEL]: Vogel 초기해를 기초한 primal simplex 알고리즘

[KILTER]: Ford와 Fulkerson의 out-of-kilter 알고리즘

[DIJKSTRA]: Dijkstra의 알고리즘

[PRIM]: Prim의 알고리즘

[FORD]: Ford와 Fulkerson의 labelling 알고리즘

[CHRIS]: Christofides의 알고리즘

[EDMONDS]: Edmonds와 Karp의 알고리즘

[JENSEN]: Jensen 과 Barnes의 implicit enumeration 알고리즘

6. 4 전문가 시스템

① 모형선정 및 휴리스틱 해법 지식베이스

네트워크의 분석목적에 맞는 최적화모형을 선정하거나 또는 최종 모형이 수학적 복잡도의 한계를 넘는 경우 사용되는 휴리스틱 해법들이 이에 포함된다. 이외에도 외견상으로 복잡해 보이는 실제 문제를 사전에 정리하여 간단히 만드는데 필요한 사전정지작업(preprocessing) 지식과 해의 타당성 평가 결과에 따라 수정이 필요한 해의 조정과정을 위한 지식도 포함된다<그림 7참조>.

네트워크 분석모형의 선정에 주요 기준이 되는 요소로 다음을 들 수 있으며 모형선정 및 휴리스틱 알고리즘 지식베이스에서 사용하는 production rule set의 예는 <부록 2>와 같다.

1. 목적함수 (OBJ_FTN)

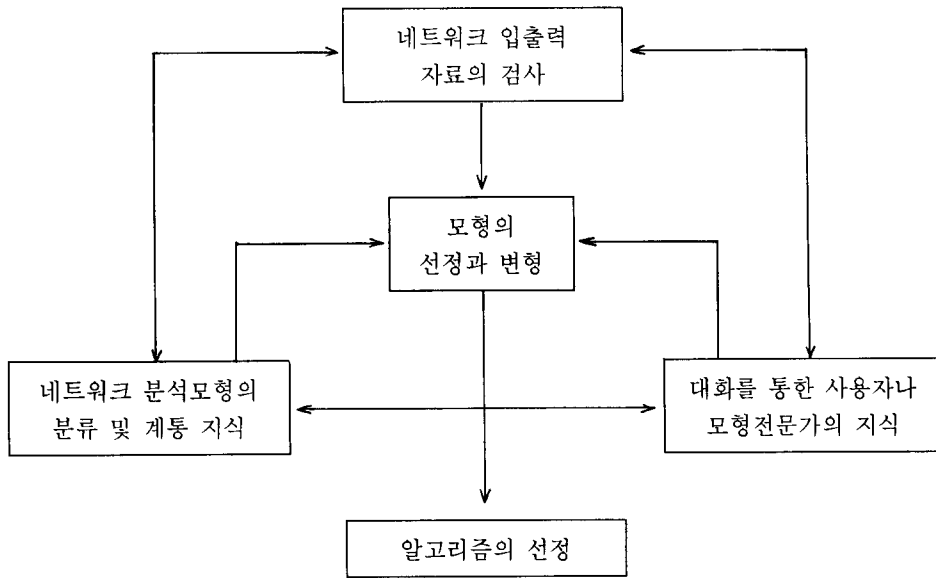
-linear (min/max)

-nonlinear (convex/concave)

-cost /distance /flow

2. 제약조건 (CONST)

-given arc costs



<그림 7> 모형과 알고리즘의 선정 절차

- given arc costs and arc flow limits
- given network structure and arc flow limits
- given network structure and flows at sink /source
- connectivity
- 3. 결정변수 (DEC_VAR)
 - network constuction
 - path analysis in the given network structure
 - path and flow analysis in the given network structure
- 4. 그래프의 형태 (GRAPH)
 - nondirected
 - directed
 - bipartite
 - complete
- 5. 흐름의 보존 (FLOW)
 - conserve

- nonconserve (linear /nonlinear)
- 6. 네트워크의 구조 (NETWORK)
 - echelon (single /multi)
 - flow (0-1 /integer /real)
- 7. 사용자의 주관적 판단 (USER)
 - homogeneous
 - heterogeneous (revised /mixed /additional constraints)

② 모형계수산정 지식베이스

수학모형의 계수는 기본적으로 데이터베이스로부터 직접 공급되는데 많은 경우에 이러한 계수들이 실제문제에서 명확히 정의되고 계산되어질 수 있는 것들이 아니기 때문에 데이터베이스의 기초자료를 기본으로 하여 복잡한 계산을 거치거나 사용자의 추측과 가정, 또는 상황적 판단에 의하여 추정된다. 예를 들어 수송문제에 있어서 두 지점간의 단위당 수송비는 거리에만 비례하는 것이 아니라 오히려 인력 수급상황, 지형, 수송시간, 계절

별, 도로상황, 교통상황 등에 더 큰 영향을 받는 것이 일반적이다. 또한 물동량도 부피, 무게 또는 이 둘의 혼합으로 환산될 수도 있으며 수송매체의 특성에 따라서 많은 차이를 보일 수 있다. 이러한 경우 데이터베이스의 기본자료를 토대로 전문가나 사용자의 주관적 판단과 지식을 통하여 모형에서 요구하는 계수의 산정이 이루어 지게 된다. 모형계수산정 지식베이스는 데이터베이스와 사용자와의 대화로부터 최종의 수학적 최적화 문제에 쓰일 계수를 산정하는 지식을 포함한다.

③ 해의 타당성 평가 지식베이스

휴리스틱 해법을 통해 얻은 최종해는 물론이고 수학적 최적화 모형으로 부터 구한 해도 사용자가 최종적으로 검증하고 그 타당성을 확인하게 되는데 이를 위한 지식을 저장하는 것이 해의 타당성 평가 지식베이스이다. 수정이 필요한 해에 대해서는 사용자의 주관적인 판단과 전문가의 지식에 따라 조정과정이 따른다.

6. 5 사용자 인터페이스

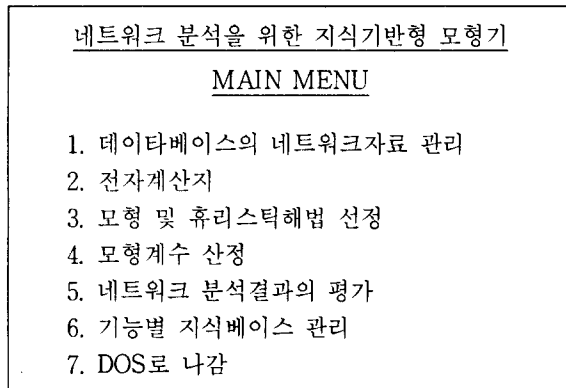
사용자와 지식기반형 모형기를 연결해주는 사

용자 인터페이스는 몇가지 중요한 기능을 갖는다. 첫째, 사용자와 데이터베이스나 지식베이스 등과 같은 하부시스템간의 대화(dialog)를 관리한다. 둘째, 모형기에서 만들어내는 중간 결과나 최종결과와의 대안들을 저장하여 사용자가 비교하여 최선의 해를 구하도록 도와준다. 셋째, 제시된 해를 그래픽기관을 통하여 시각적으로 보여주거나 사용자가 원하는 형태의 보고서 형식으로 출력 해준다. 사용자와 모형기간의 대화는 질문-대답식(question-answer), 입력-출력 양식(input-output form) 혹은 메뉴식(menu)을 주어진 상황에 맞게 적절히 사용한다. 예를 들어 전문가 시스템간에는 질문-대답식의 대화를 이용하고 데이터베이스와는 입력-출력 양식을 이용한다.

7. 시험적 모형기의 운용에

지식기반형 모형기가 운용되는 과정을 축약된 화면예와 함께 단계별로 설명하면 다음과 같다.

- ① 사용자는 초기화면을 통하여 데이터베이스, 전
자계산지 또는 기능별 지식베이스에 접근한다.



- ② SQL 언어를 통하여 사용자가 데이터베이스의 네트워크자료를 직접 관리하거나 조건에 맞게 선별된 자료가 모형계수산정 지식베이스 등과 같은 하부 모듈로 이송된다.

데이터베이스의 네트워크자료 관리

```
SQL> .....
SQL> INPUT FILENAME : C:\NETWORK\NET1. DAT ;
SQL> SELECT ARC_NUM, NODE_START, NODE_END, DISTANCE,
        ARC_COST, FLOW
        FROM ARC_LIST, ARC_DESCRIPTION
        WHERE ARC_CLASS > 3
        AND ARC_CONDITION > 5 ;
SQL> OUTPUT FILE NAME : C:\NETWORK\NET2. DAT ;
```

- ③ 사용자는 추론기관을 통하여 모형선정 및 휴리스틱해법 지식베이스에 접근하여 모형을 선정 하고 이에 따라 데이터베이스로부터 모형계수들을 전달 받는다.

모형 및 휴리스틱해법 선정

```
MODEL> .....
MODEL> Is objective function linear ?
MODEL> yes
MODEL> Is objective function cost related ?
MODEL> yes
MODEL> What are the constraints ?
MODEL> .....
MODEL> Then it is a assignment problem.
        Apply hungarian method
MODEL> .....
```

- ④ 모형에 따라 알고리즘이 선정, 수행되지만 추가적인 제약조건들로 인하여 기존모형에 변경이 생길때는 모델베이스로부터 자동 생성된 최적화 모형의 입력화일을 LINDO가 받아 그 풀이과정을 수행한다.

```

최적화모형의 자동 생성

LINDO> TAKE C:NET1. DAT
LINDO> LOOK ALL
MINIMIZE
3.51X1+ 2.72X2+ 10.22X3+ 5.80X4+ 6.18X5+
.....
ST
X1+ X2+ X3+ X4+ X5 <= 88
.....
END
LINDO> GO

OBJECTIVE FUNCTION VALUE
(1) 7583. 87
VARIABLE VALUE REDUCED COST
X1 6.00000 0.00000
X2 0.00000 29.00000
.....
    
```

⑤ 네트워크의 분석결과는 그래픽기관을 통하여 사용자에게 시각적으로 전달되고 해의 민감도 분석, 전문가의 지식 혹은 전자계산지를 이용

한 사용자의 주관적 판단을 통하여 그 타당성을 평가받는다.

```

네트워크 분석결과의 평가

EVAL> Are you satisfied with the solution ?
EVAL> no
EVAL> Do you want to do sensitivity analysis ?
EVAL> yes

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:
OBJ COEFFICIENT RANGES
VARIABLE CURRENT ALLOWABLE ALLOWABLE
COEFF INCREASE DECREASE
X1 3.51 18.5000 10.0000
.....
EVAL> Do you want to change the model ?
EVAL> yes
EVAL> .....
    
```

⑥ 타당성 평가에 따라 네트워크 분석결과가 보고서 형식으로 출력되고 프로세스를 마치거나 새

로운 모형 혹은 새로운 계수의 산정을 통하여 사용자와의 절충과정을 되풀이하게 된다.

최소비용흐름문제 분석결과

ORIGIN-TERMINAL MATRIX

minimum cost = 23497.67		TO						
		1	2	3	4	5	6
FROM	1	30		7				
	2			8			5	
	3			17				
	.							

〈네트워크그래프 생략〉

8. 결론

모형화 및 해의 도출 과정에 있어서 사용자와 전문가의 정성적, 주관적 지식을 효과적으로 수용할 수 있는 지식 기반형 모형기의 개념적 설계가 제시되었다. 이에는 추론기관을 통한 데이터베이스, 모형/알고리즘베이스 및 기능별 지식베이스 간의 정보흐름이 순차적으로 정의되었다. 특히 네트워크분석 문제군에 대하여 응용소프트웨어 개발도구인 GURU를 이용하여 데이터베이스, 범용의 그래픽기능, 전자계산지, 프로그래밍언어, 전문가시스템의 기능들이 통합된 시험적 모형기가 구축되었다. 이 모형기에는 문답식의 모형화 과정, 결과의 그래프 표현, 메뉴식 명령 등 친숙한 사용자 인터페이스가 고안되어 OR/MS 분야에 익숙치 않은 일반사용자로 하여금 수학적인 경영

분석도구들을 실제상황에 쉽게 사용하도록 하고 있다.

시험적 모형기의 실제 활용을 위해서는 다음의 몇가지 연구가 선행되어야 한다.

- ① 모형선정 및 휴리스틱 알고리즘 지식 베이스의 개선을 위해서는 분석대상이 되는 모형군들이 일반 사용자의 입장에서 보다 정성적, 계통적으로 분류되어야 한다.
- ② 네트워크구조를 효과적으로 보관하는 관계형 데이터베이스의 최적설계에 관한 연구가 필요하다.
- ③ 모형화 과정에 비정량적 제약조건이 효과적으로 감안되도록 하는 추론기관의 기본 구조에 관한 연구가 필요하다.
- ④ 각 지식베이스의 현실적인 지식 축적이 필수적이다.

부 록

〈부록 1〉 네트워크자료 데이터베이스의 구조

```

CREATE TABLE ARC_LIST
  ( ARC_NUM INTEGER NOT NULL,
    NODE_START INTEGER NOT NULL,
    NODE_END INTEGER NOT NULL,
    ARC_COST DECIMAL (p1, q1),
    FLOW_UPPER DECIMAL (p2, q2),
    FLOW_LOWER DECIMAL (p3, q3) );
CREATE TABLE ARC_NUM_LIST_INC
  ( ARC_NUM_INC INTEGER NOT NULL,
    NODE_START INTEGER,
    NODE_END INTEGER );
CREATE TABLE ARC_NUM_LIST_DEC
  ( ARC_NUM_DEC INTEGER NOT NULL,
    NODE_START INTEGER,
    NODE_END INTEGER );
CREATE TABLE ORIGIN_POINTER_LIST
  ( NODE_NUM INTERGER NOT NULL,
    ORIGIN_POINTER INTEGER );
CREATE TABLE TERMINAL_POINTER_LIST
  ( NODE_NUM INTERGER NOT NULL,
    TERMINAL_POINTER INTEGER );
CREATE TABLE ARC_DESCRIPTION
  ( ARC_NUM INTEGER NOT NULL,
    ARC_NAME VARCHAR (n1),
    ARC_CLASS INTEGER,
    ARC_CONDITION INTEGER,
    DISTANCE DECIMAL (p4, q4),
    FLOW DECIMAL (p5, q5),
    ARC_DESCRIPTION VARCHAR (n2) );
CREATE TABLE NODE_DESCRIPTION
  ( NODE_NUM INTEGER NOT NULL,
    NODE_NAME VARCHAR (n3),
    NODE_CLASS INTEGER,
    NODE_CONDITION INTEGER,
    SUPPLY (p6, q6), DEMAND (p7, q7),
    NODE_DESCRIPTION VARCHAR (n4) );

```

〈부록 2〉 모형선정 및 휴리스틱 알고리즘 지식베이스 production rule set의 일부

RULE 1 :

```

IF      Not matched
  AND ( OBJ_FTN = linear
  AND cost )
  AND ( CONST = given arc costs and arc flow limits )
  AND ( GRAPH = bipartite AND complete )
  THEN GROUP1

```

RULE 1A :

```

IF      Not matched
  AND ( GROUP1 = true )
  AND ( DEC_VAR = path analysis in the given network )
  AND ( NETWORK = 0-1 flow
  AND single echelon )
  THEN model (P1) / Apply algorithm (HUNG) / Matched

```

RULE 1B :

```

IF      Not matched
  AND ( GROUP1 = true )
  AND ( DEC_VAR = path/flow analysis in the given network )
  AND ( NETWORK = integer AND single echelon )
  THEN model (P2) / Apply algorithm (VOGEL) / Matched

```

RULE 1C :

```

IF      Not matched
  AND ( GROUP1 = true )
  AND ( DEC_VAR = path/flow analysis in the given network )
  AND ( NETWORK = multiechelon )
  THEN model (P3) / Apply algorithm (KILTER) / Matched

```

RULE 2 :

```

IF      Not matched
  AND ( OBJ_FTN = linear
  AND distance )
  AND ( CONST = connectivity )
  AND ( DEC_VAR = network constuction )
  AND ( GRAPH = nondirected )
  THEN model (P5) / Apply algorithm (PRIM) / Matched

```

RULE 3 :

```

IF      Not matched
  AND ( DEC_VAR = path/flow analysis in the given network )
  AND ( GRAPH = directed )
  THEN GROUP2

```

RULE 3A :

```

IF      Not matched
  AND ( GROUP2 = true )

```



```

AND ( OBJ_FTN = min cost OR min distance )
AND ( CONST = given arc costs )
AND ( NETWORK = 0-1 flow )
THEN model (P4) / Apply algorithm (DIJKSTRA) / Matched

```

RULE 3B :

```

IF      Not matched
AND ( GROUP2 = true )
AND ( OBJ_FTN = max flow )
AND ( CONST = given network structure and arc flow limits )
THEN model (P6) / Apply algorithm (FORD) / Matched

```

RULE 3C :

```

IF      Not matched
AND ( GROUP2 = true )
AND ( OBJ_FTN = min cost )
AND ( CONST = given network structure and flows at sink /source )
THEN model (P7) / Apply algorithm (KILTER) / Matched

```

RULE 3D :

```

IF      Not matched
AND ( GROUP2 = true )
AND ( OBJ_FTN = min cost )
AND ( CONST = given network structure and flows at sink /source )
AND ( FLOW = nonconserve )
THEN model (P8) / Apply algorithm (CHRIS) / Matched

```

RULE 3E :

```

IF      Not matched
AND ( GROUP2 = true )
AND ( OBJ_FTN = min cost AND nonlinear convex )
AND ( CONST = given network structure and flows at sink /source )
THEN model (P9) / Apply algorithm (EDMONDS) / Matched

```

RULE 3F :

```

IF      Not matched
AND ( GROUP2 = true )
AND ( OBJ_FTN = min cost
AND nonlinear concave )
AND ( CONST = given network structure and flows at sink /source )
THEN model (P10) / Apply algorithm (JENSEN) / Matched

```

RULE 4 :

```

IF      Not matched
AND ( USER = heterogeneous )
THEN Consult heuristics or use commercial solver / Matched

```

참고문헌

- [1] 한상연, 공공시설물의 효율적 관리를 위한 종합정보 시스템의 개발, 한국통신학술 연구 보고서, 1993.
- [2] Bhargava, H. and R. Krishnan, "A Formal Approach for Model Formulation in a Model Management System," *Proceedings of the 23rd Hawaii International Conference on the System Sciences*, 1990.
- [3] Bhargava, H. and R. Krishnan, "Computer-aided Model Construction," *Decision Support System*, 9, 1993.
- [4] Bray, J. A. and C. Witzgall, "Algorithm 336 NETFLOW," *Communication of ACM*, 11, 1968.
- [5] Brown, D. and C. White ed., *Operations Research and Artificial Intelligence: The Integration of Problem-Solving Strategies*, Kluwer Academic Publishers, 1990.
- [6] Christofides, N., *Graph Theory : An Algorithmic Approach*, Academic Press, 1975.
- [7] Dijkstra, E. W., "A Note on Two Problems in Connection with Graphs," *Numerische Mathematik*, 1, 1959.
- [8] Edmonds, J. and R. M. Karp, "Theoretical Improvements in Algorithmic Efficiency for Network Flow Problems," *Journal of ACM*, 19, 1972.
- [9] Eom H. B. and S. M. Lee, "A Survey of Decision Support System Applications (1971-April 1988)," *Interfaces*, 20, 1990.
- [10] Ford, L. R. and D. R. Fulkerson, *Flows in Networks*, Princeton University Press, 1962.
- [11] Geoffrion, A. M., "An Introduction to Structured Modeling," *Management Science*, 33, 1987.
- [12] Geoffrion, A. M., "The Formal Aspects of Structured Modeling," *Operations Research*, 37, 1989.
- [13] Han, S., J. Kim and I. Adguzel, "XPlanner: Knowledge based Decision Support System for Facility Management and Planning," *Environment and Planning B*, 6(1991).
- [14] Jensen, P. A. and J. W. Barnes, *Network Flow Programming*, John Wiley & Sons, 1980.
- [15] Kennington, J. L. and R. V. Helgason, *Algorithms for Network Programming*, John Wiley & Sons, 1980.
- [16] Kobbacy, K., N. C. Proudlove and M. A. Harper, "Towards an Intelligent Maintenance Optimization System," *Journal of the Operational Research Society*, 46, 1995.
- [17] Kuhn, H. W., The Hungarian Method for the Assignment Problem, *Naval Research Logistics Quarterly*, 2, 1955.
- [18] Kusiak, A. *Intelligent Manufacturing System*, Prentice Hall, 1990.
- [19] Kusiak, A. *Intelligent Design and Manufacturing*, Wiley-Interscience, 1992.
- [20] Ma, P., F. H. Murphy and E. A. Stohr, "LPSPEC: A Language for Representing Linear Programs," Working Paper

- GBA#86-104, New York University, 1986.
- [21] Ma, P., F. H. Murphy and E. A. Stohr, "A Graphics Interface for Linear Programming," *Communications of the ACM*, 32(1989).
- [22] Prim, R. C., "Shortest Connection Networks and Some Generalization," *Bell System Technical Journal*, 36, 1957.
- [23] Sklar, M. "On the Automatic Formulation of LP Problems," presented at ORSA/TIMS, St. Louis, 1987.
- [24] Sprague Jr. R. H. and H. J. Watson, *Decision Support Systems - Putting Theory Into Practice*, Prentice Hall, New Jersey, 1986.
- [25] Turban E., *Decision Support and Expert Systems: Management Support Systems (3rd edition)*, Macmillan, New York, 1993.
- [26] Zahedi, F. "Economics of Expert Systems and Contribution of MS/OR," *Interfaces*, 17, 1987.
- [27] Zahedi, F. "A knowledge Base for IP - A Meta OR Approach -," *OR and AI*, KAP, 1990.
- [28] *GURU Reference Manual* Vol. 1, Micro Data Base Systems, 1987.
- [29] *GURU Reference Manual* Vol. 2, Micro Data Base Systems, 1987.