

Extended RCA법을 이용한 자동차 전장 경로 설정 모듈의 개발

임성혁* · 이수홍**

A Development of Wire Path Searching Module Using Extended RCA Method

Seong-Hyuk Yim*, Soo-Hong Lee**

Abstract

This study deals with the development of *wire path searching module* as a part of automobile wire harness design system. *wire path searching module* manages the free space, finds transition locations, and creates bundle paths to dramatically reduce a tedious iterative routing process which results in easy optimization of the bundle paths. A prime policy in the system configuration is to compromise between man's and computer's ability, and make it possible a designer's leading role in designing process. Human input is indispensable to cope with the special cases which were not considered in the initial design stage of the system. In this study, we improve the previous shortest-path-finding algorithm, (VGraph and RCA method) into a new method called Extended RCA. Bundles, connectors and transitions are handled as objects so one can manage and modify physical properties of the objects easily. Therefore a verification is allowed at any desired stage of design. The reuse of previous result is facilitated by using Dependency Structure, which represents the mutual relations among connectors, transitions, and bundles. Dependency Structure makes it possible the elimination of redundant calculating process, and consequently shorter routing time.

Keywords : Concurrent engineering, Wire harness design, Shortest path, Transition, Extended RCA.

1. 서 론

항공기나 자동차에서 전력이나 신호를 전달하는데 쓰이는 전장(電裝)의 설계는 전통적으로 시간 소비적이며 단순 작업의 반복을 요구한다. 대부분의 경우 전장 배열과 경로 설정은 생산품 설계의 마지막 단계에 가서야 고려되는데 그 이유는 전장 설계가 전장 배열의 전기적 요구조건, 부품의 기하학적 정보와 공간적 위치 등에 따라 변할 수 있고, 따라서 위의 사항들이 결정되고 나서야 경로 설정을 위한 공간이 얻어진다고 생각해 왔기 때문이다. 이러한 방식으로 인하여 전장 설계자들은 공정 감소나 재료 값, 무게 등의 측면에서 이상적인 것과는 거리가 먼

경로나 배열을 선택할 수 밖에 없었다.^(1,2)

동시공학적 관점에서 볼 때, 부품의 위치나 형상이 아직 결정되지 않은 설계 초기부터 경로 문제를 고려하는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 서로 다른 기하학적 레이아웃에 대해 빠르게 경로 설정을 해보고 다른 경우와 비교하는 작업을 쉽게 해주는 컴퓨터 시스템이 필요하며,⁽²⁾ 이러한 시스템에는 최적의 경로를 빠른 시간 내에 찾을 수 있는 알고리즘이 필수적이다.

본 연구는 위와 같은 동시공학적 전장 설계 시스템의 한 모듈인 경로 탐색 모듈의 개발을 위하여 3차원 공간 상에서 최적의 와이어링 경로를 찾는 Extended RCA 방법을 개발, 적용하였다.

*연세대학교 기계공학과 대학원
**중신회원, 연세대학교 기계공학과

2. 전장 설계 시스템

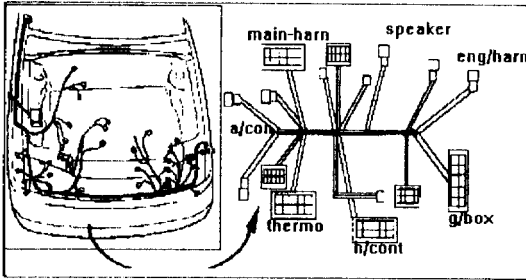


Fig. 1. A wire harness for an automotive.

전장 설계는 동시공학에 의한 방법론을 적용해 볼 수 있는 분야로 꼽힌다. 전장 설계는 현장에서 수십 년 동안 설계에 요구되는 사항과 제한조건들을 정립해 놓고 있으며, 또한 전기와 기계의 개념을 동시에 포함하므로 이러한 두가지 개념을 하나로 통합해 보자는 의도로 발전되었다.^(1,3)

전장 설계 문제는 그 선택 범위가 매우 넓고, 또한 많은 제한조건들이 설계 도중 끊임없이 첨삭되므로 최적의 결론을 쉽게 얻을 수 없다. 따라서, 설계 공정을 여러 단계로 분해하게 되며 각 단계 사이에는 수많은 반복 과정이 포함되게 된다.^(3,4) 각 설계요소들 사이의 유기적 상관관계는 매우 복잡하며, 설계자가 각 요소의 상호 연관 관계를 모두 파악하고 마찰없이 유지하기란 쉬운 문제가 아니다.

이러한 문제점들을 기존의 순차적인 설계 방식으로는 해결하기 어려우며, 따라서 동시공학적 설계 방법론이 대두되고 있다. 이는 기획 단계부터 모든 개발 관련 부서 실무자가 참여하여, 개발에 필요한 여러 가지 조건에 대한 합의를 하고, 예상 문제점을 사전에 점검함으로써, 업무 이관에 필요한 리드 타임을 줄임과 동시에 잦은 설계 변경에 효율적으로 대처할 수 있기 때문이다. 이러한 동시공학을 지원하는 시스템은 초기의 블랙박스 시스템으로부터 시작하여 현재 에이전트 기반 방식으로 발전되어 왔다.^(1,3,5)

2-1. 전장 설계 시스템을 구성하는 에이전트

전장 설계 시스템은 Fig. 2와 같은 4개의 에이전트(모듈)로 구성된다.⁽¹⁾

2-1-1. 와이어링 편집기⁽⁶⁾

전기적 사양과 주변 제약 조건들을 고려하여 전체적인 전장의 배열을 구성한다. 와이어링 편집기의

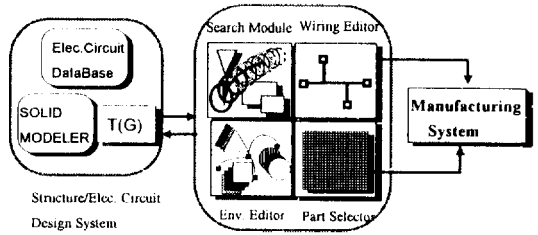


Fig. 2. An overall wire routing system comprises four agents; wiring editor, environment editor, wire path searching module, and part selector.

중요한 목적은 여러 개의 전장모델을 빠르게 실험해 볼 수 있도록 하는 것이며, 변들의 세부 사항들을 자동적으로 갱신해 주고 변들의 최대 직경치에 대한 제약들을 적용하는 것이다.

2-1-2. 환경 편집기

환경 편집기의 주요 기능은 부품 위치와 크기의 기하학적 정보 및 그 물성치들을 생성하고 관리하는 것이다. 부품의 기하학적 정보의 대부분은 외부 CAD 시스템으로부터 제공된다. CAD 시스템에서 전송된 기하학적 데이터를 Convex-polyhedra나 Bounding-box의 단순 3차원 형태로 전환하여 쉽게 처리할 수 있도록 한다.

2-1-3. 경로 설정 모듈

컴퓨터 계산 시간이 가장 많이 요구되는 에이전트이다. 정해진 배열에 대하여 트랜지션의 위치와 변들의 경로를 생성하며, 진동이나 과열, 유지 보수 관리 등을 위한 여유 공간 등, 특별히 주의를 요하는 영역을 구분한다.

2-1-4. 부품 선택자

전장의 부품 리스트를 생성하기 위하여 와이어링 편집기에서 제공하는 배열을 사용하여 무게나 재료비 같은 부품의 성질이나 부품 수를 포함하는 완전한 BOM을 관리한다.

앞서 언급한 에이전트들은 각각의 고유업무를 수행하는 한편, 서로 간의 정보를 공유하며 설계를 진행시킨다.

본 논문에서 다루는 경로 설정 모듈은 i) 자유공간을 생성하는 부분과 ii) 생성된 자유공간에 경로를

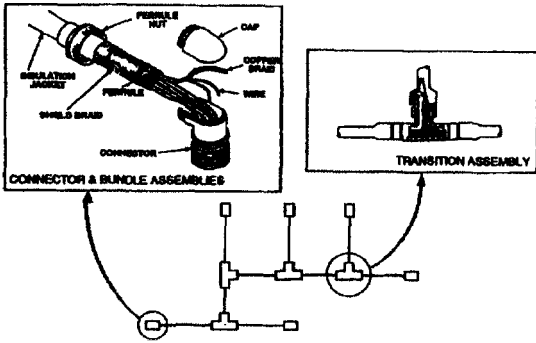


Fig. 3. Diagram of a typical wire harness configuration and view of components in a bundle.

설정하는 부분으로 나눌 수 있다. 자유공간 생성 부분에 대해서는 이미 많은 연구⁽⁶⁾가 행하여 졌으므로, 본 연구에서는 자유공간 생성 모듈로부터 얻어진 자유공간 상에 최적의 경로를 탐색하는 기능의 구현에 중점을 둔다.

2-2. 전장 설계 문제 영역

2-2-1. 전장의 표현

전장은 여러 개의 전기 부품을 연결하는 와이어들과 트랜지션으로 묶여서 엔드 커넥터에서 끝나는 와이어 번들로 구성된다. 이들은 와이어의 경로에 영향을 미치며 다음과 같이 정의된다(Fig. 3 참조)

① 엔드 커넥터

전장을 전기 부품과 연결시킨다. 엔드 커넥터는 와이어들의 종착점을 표시하며, 위치와 방향이 정의되어 있으므로 이 정보가 전장의 경로 설정에 이용된다.

② 트랜지션 [장선이라고도 불림]

번들 사이의 가지점을 형성한다. 트랜지션은 번들이 출입하는 출입구를 점으로 나타내는데, 이것은 경로 설정을 위한 것이다. 트랜지션과 엔드 커넥터는 전장의 노드를 형성한다.

③ 번들

와이어들의 묶음을 나타내며, 두 개의 노드를 연결하는 부분으로서 와이어링 설계에 있어서 가장 중요한 부품이다. 와이어 갯수, 단열재, 케이스 종류 등은 번들의 물리적, 기하학적 물성치들, 즉 직경, 딱딱함, 최소 곡률 반경, 단위 길이당 가격 등에 영향을 미친다. 번들은 하나의 객체로 표현되며, 그 슬롯에는 물리적 물성치

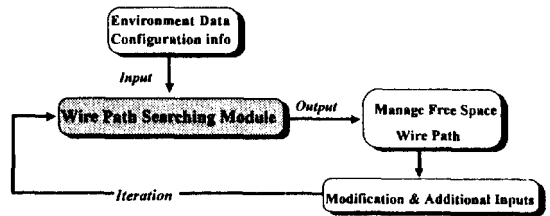


Fig. 4. A typical information flow in Wire Path Searching Module.

들과 경로 리스트를 가진다.

3. 경로 설정 모듈

본 논문에서 개발된 경로 설정 모듈은 와이어링 편집기로 부터 얻어지는 배열 정보와 환경 편집기로부터 얻어지는 장애물 및 커넥터의 기하학적 정보를 입력받아 전장의 최적 경로를 생성해내는 기능을 가진다(Fig. 4). 배열이란 전장에 요구되는 전기적 연결성을 만족하도록 커넥터와 트랜지션들을 배치하고 연결한 것으로서 동일한 전기적 연결성을 만족하는 배열의 개수는 여러 개가 있다. 이러한 여러 개의 배열들 중 적당한 것이 와이어링 편집기로부터 선택되어 입력된다.

설계자는 시스템이 제공하는 결과에 적절한 수정 및 추가 제한 조건을 가함으로써 원하는 결과를 얻을 수 있으며, 이러한 사용자 인터페이스 과정은 시스템 구성시 미처 고려하지 못한 특수한 경우의 조건들을 고려해 줄 수 있도록 하여 시스템의 유연성을 향상시킨다.

본 모듈에 입력 가능한 장애물은 다각형이며 Convex형의 입체로 제한된다. Nonconvex형의 장애물은 환경 편집기에서 Convex-hull⁽⁶⁾ 알고리즘을 통하여 Convex형으로 단순화되어 입력된다.

4. 경로 계산 프로세스

최적의 경로를 찾기 위해서는 최적의 트랜지션 위치를 결정한 다음 트랜지션과 엔드 커넥터를 연결하는 최단 경로를 생성해야 한다.

따라서, 와이어링의 경로 설정 문제는 다음의 두 가지 과정으로 요약된다.

- ① 주어진 장애물의 기하학적 정보와 커넥터의 위치 정보에 기반한 「트랜지션의 최적 위치 결정,

② 트랜지션과 커넥터를 연결하기 위한 「두 점 사이의 최단 경로 설정 알고리즘」.

다음 절들에서는 초기 배열로부터 최종 전장 경로를 얻어내는 설계 프로세스 알고리즘을 좀 더 상세히 다룰 것이다. 주요 단계는 아래와 같다.

- ① 환경 정보를 기반으로 한 탐색 네트워크 형성
- ② 트랜지션의 초기 위치 결정
- ③ 트랜지션의 후보 위치 생성
- ④ 트랜지션의 위치 결정

참고로, 본 논문에서는 최적 와이어 경로의 계산에 번들의 곡률 반경과 같은 물리적 물성치들은 고려하지 않았음을 밝힌다. 번들의 물리적 물성치를 고려하는 것은 그리 간단한 문제가 아니며, 현재 고려 가능한 몇가지 방법론들만이 제시되어 있는 상황이다.⁽²⁾

4.1. 환경 정보를 기반으로 한 탐색 네트워크 형성

네트워크 형성은 최단 경로 탐색을 위한 초기 준비 과정이다. 3차원 작업 공간 상에 장애물 및 커넥터들이 투영되면 우선 이 기하학적 정보들을 통하여 네트워크를 형성한다. VGraph 방법^(6,7)은 장애물의 꼭지점을 하나의 노드로 생각하여 이 노드들을 연결한 연결선들로 네트워크를 구성한다. 이 때, 연결선들은 장애물과 간섭이 일어나지 않아야 한다. 몇 개의 장애물로부터 얻은 연결선들이 Fig. 5에 도식되어 있다.

위의 그림은 세 개의 장애물을 사이에 둔 두 커넥터 간의 네트워크를 나타낸다. 이 네트워크 상을 탐색하여 두 점 사이의 최단 경로를 구한다.

4.2. 트랜지션의 초기 위치 결정

이 단계에서 장애물은 고려되지 않으며 따라서 탐색 공간은 Convex임을 보장할 수 있다. 트랜지션의

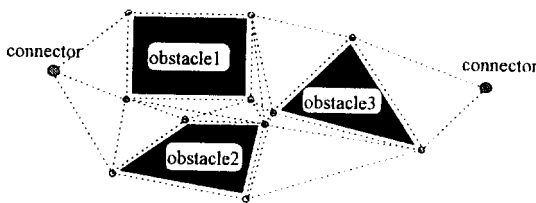


Fig. 5. After completing a visibility test, we can construct a graph network.

위치 결정 문제는 다음의 가격 함수를 최소화 시키는 문제와 동일하다고 볼 수 있다.

$$\text{가격} = \sum_{i=1}^{\text{번들개수}} K_i L_i$$

여기서, K_i : 단위 길이당 가격

L_i : i 번째 번들의 시작과 끝 사이의 거리

가격 계산에 필요한 정보들은 와이어링 편집기로부터 얻어지며 본 논문에서는 이와 같은 정보들이 이미 주어져 있다고 가정한다.

장애물을 제외한 상태에서 트랜지션의 최적 위치는 최적화 알고리즘 및 번들 입출력 노드의 자동 결정 알고리즘을 통하여 얻을 수 있다. 번들 입출력 노드의 자동 결정이란 각 번들에 몇 번 커넥터와 몇 번 트랜지션이 연결되는지 자동으로 결정해준다는 뜻이며, 이 기능은 커넥터의 개수에 상관없이 자동으로 제공되어야 한다.

위와 같은 자동 결정 알고리즘을 위해서 다음과 같은 제약조건을 적용한다.

- ① 각 트랜지션에는 세 개의 번들이 연결된다.
- ② 각 번들의 시작과 끝은 한쪽이 커넥터이고 다른 한쪽이 트랜지션이거나 둘 다 트랜지션이다.

위와 같은 조건 하에서 번들 정보는 자동으로 얻을 수 있다. 다음에는 최적화 알고리즘을 사용하여 장애물을 무시한 상태에서의 트랜지션의 최적 위치를 계산한다. 본 연구에서 사용된 최적화 알고리즘은 급경사법(Steepest Ascent Method)⁽⁸⁾이다.

이와 같은 초기 트랜지션 위치 결정 과정을 통하여, 치후의 선택과정을 위한 일종의 기준위치를 얻을 수 있을 뿐 아니라 선택된 배열이 엔드 커넥터들의 기하학적 레이아웃에 얼마나 잘 매핑되는가를 예측할 수 있다. 또한 배열의 가격과 무게에 대한 하한가도 얻을 수 있다.

4.3. 트랜지션의 후보 위치 생성

앞에서도 언급하였듯이 장애물의 존재로 인하여 탐색공간이 Nonconvex가 되므로 장애물을 고려한 상태에서 최적의 트랜지션 위치를 찾는 것은 어렵다. 그러나, 우선 장애물을 고려하지 않은 상태에서의 최적의 트랜지션 위치를 구한 후, 이와 함께 몇 개의 트랜지션 후보 위치들을 사용자에게 시각적으로 제공하여 준다면 사용자가 최적에 가까운 트랜지션 위치를 정하는 것이 가능하다. 후보 위치들의 적

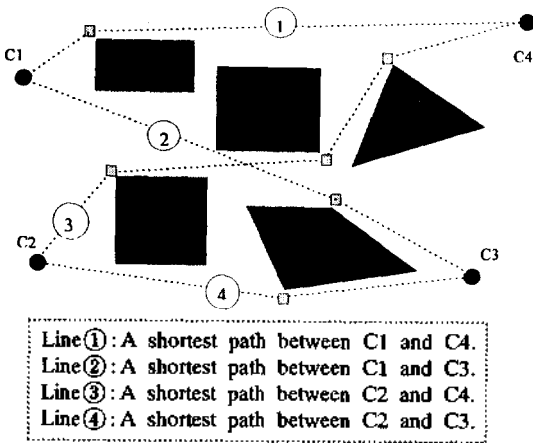


Fig. 6. Shortest paths between connectors give candidate positions of transitions.

절한 선택을 위해서는 우선 후보 위치들의 탐색 대상 공간을 정한 후, 다음과 같은 제한 조건들을 적용하여 그 대상 공간을 줄여나가야 할 것이다.

- ① 장애물이 위치한 공간은 탐색공간에서 제외되어야 한다.
- ② 최적의 트랜지션 위치는 노드 중에 존재한다 (2차원 공간).

위와 같은 제한 조건들로써 대상 공간을 꼭지점에 생성된 노드로 한정된 후, 모든 커넥터를 서로 최단 경로로 연결하여 각 경로가 거치는 중간 노드들을 추출한다. Fig. 6은 4개의 커넥터와 2개의 트랜지션이 있는 배열의 경우에 트랜지션의 후보 위치들을 표시한 것이다.

트랜지션이 장애물의 꼭지점에 위치한 노드들 중에 존재한다는 앞에서의 전제는 2차원 공간 상에서 모든 최단 경로들이 꼭지점에 위치한 노드를 지날 수 밖에 없다는 점에서 매우 타당하며, 또한 실제 경로 설계 작업시 트랜지션이 장애물 근처에 클래핑 되어야 설치 및 유지보수가 쉽다는 점을 고려한다면 매우 합리적이다. 물론 3차원 공간에서는 이와같은 전제가 항상 성립될 수는 없으며, 따라서 사용자의 선택이 후보 노드들만으로 제한되어서는 안된다.

이상의 결과에서, 후보 노드들을 생성할 때, 우선 최단 경로 탐색이 선행되어야 한다는 것을 알 수 있다. 다음 절들에서 최단 경로 탐색 과정을 상세히 설명하고자 한다.

4-3-1. 3차원 최단 경로 탐색

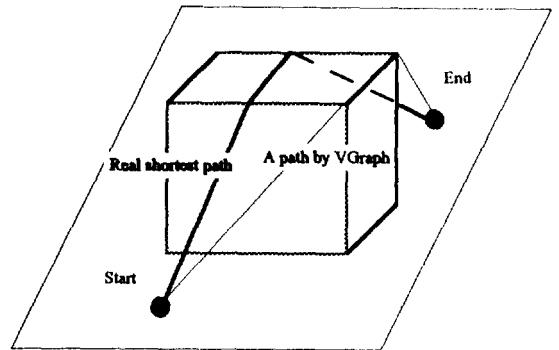


Fig. 7. A failing case of a VGraph in 3D space.

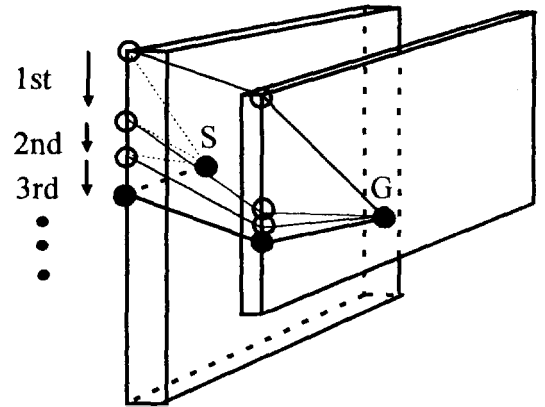


Fig. 8. A graphical representation of a RCA procedure.

경로 탐색에 필요한 네트워크의 구성은 이미 앞에서 언급하였으므로 이번에는 구성된 네트워크를 탐색하는 방법에 대해서 기술한다. VGraph 방법^(6,7)은 네트워크 상을 넓이 우선 탐색 방법으로 탐색을 하되, 최단 경로의 발견을 보장하기 위하여 A*알고리즘^(9,10)을 적용한다. 2차원 공간에서는 이와 같은 방법으로 충분히 만족할 만한 최단 경로를 구할 수 있지만, 3차원 공간에서는 최단 경로를 제공하지 못할 수 있다. 그 이유는 3차원에서는 장애물의 변을 경유 하더라도 장애물과 간섭이 일어나지 않을 수 있기 때문이다(Fig. 7 참조).^(6,11,12)

이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로는 RCA (Recursive Compensation Approach)⁽¹²⁾ 방법이 있는데, 이 방법은 VGraph로 구한 경로를 수정하는 방법으로서, 중간 경유 노드들을 일정 축을 따라 움직여서 최단 거리가 나올 수 있는 위치로 노드를 옮기는 방법이다(Fig. 8) 그러나 RCA 방법을 그대로 실제 문제에 적용시키는데에는 여러가지 문제점이 발생

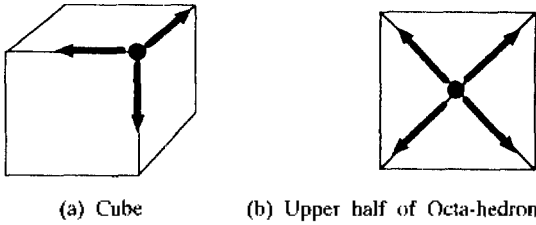


Fig. 9. A polyhedral obstacle has at least 3 compensation axes.

한다. 그것들을 정리해 보면 다음과 같다.

- ① 보간(Compensation) 방향의 제한성
보간 방향이 높이 방향(z축 방향)으로 제한된다. 따라서, 임의의 방향으로 보간할 필요가 있는 경로에는 적용할 수 없다.
- ② 보간 중의 간섭 현상
보간 도중에 경로와 장애물과의 간섭 현상이 발생할 수 있다.

4-3-2. RCA방법의 보완

RCA방법을 실제로 적용하기 위해서는 위에서 언급한 문제들을 해결하여야 한다. 그 해결 방안은 다음 네가지 문제로 요약된다.

- ① 보간 방향(축)의 일반화: 임의의 축방향으로 보간 가능하여야 한다.
- ② 보간축의 선택 알고리즘: 보간 대상이 되는 여러 축들 중에 최적의 것을 선택할 수 있는 알고리즘이 있어야 한다.
- ③ RCA의 반복 적용에 의한 영향
- ④ 간섭 검색: 보간중 발생할 수 있는 간섭을 감지해야 한다.

(1) 보간 방향(축)의 일반화

3차원 공간에서 다각형의 경우 각 꼭지점은 3개 이상의 보간 대상축을 가지므로 어떠한 방향으로도 보간 가능하여야 한다. 그 방법으로 다음과 같은 과정을 거친다. 우선 보간축을 정한 후, 그 축과 z축이 이루는 각을 측정하여 그 각을 θ 라 한다. 그리하여 보간축 상의 노드 좌표를 변환 행렬에 의하여 z축 상에 옮기고 RCA를 수행한 후, 움직인 z축 상의 좌표를 다시 3차원 좌표변환 행렬에 대입하여 원래 보

¹¹보간점이라 함은 4.3.4절에서 언급한 Extended RCA 방법에 의해 옮겨지는 중간 경우 노드를 말한다.

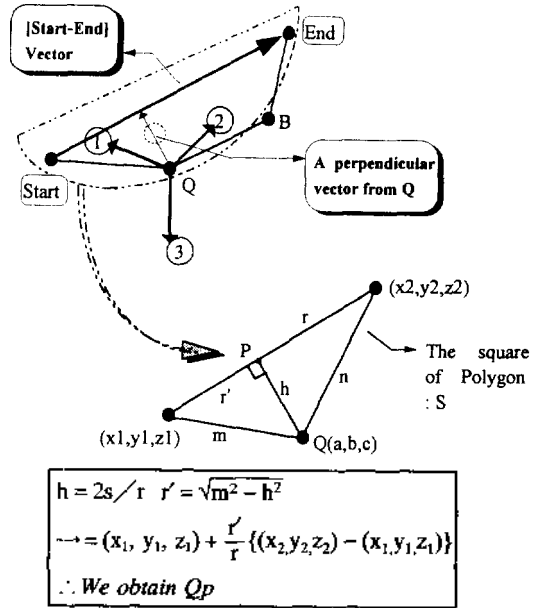


Fig. 10. Angles between reference vector and candidate axes are considered to select a compensation axis.

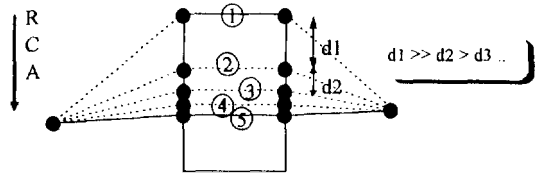


Fig. 11. Intersection among nodes can be generated during compensation.

간축 상으로 옮긴다.

(2) 보간축의 선택 알고리즘

각각의 보간점¹¹에 대한 보간축은 경로 전체를 고려하여 선택되어야 하며 국소적 선택은 지양되어야 한다. 본 논문에서는 Fig. 10에서 보여진 바와 같이 보간 대상축 ①,②,③ 중에서 출발 노드와 목표 노드를 직선으로 연결한 \vec{QP} 와의 사잇각이 가장 작은 축을 보간축으로 선택한다. 그 이유는 \vec{QP} 가 장애물이 없는 상태에서의 최단 경로이며, 따라서 VGraph 방법에 의하여 얻어진 경로를 최소화 하기 위하여 최대한 근접하여야 할 기준 벡터이기 때문이다. 여기서, 축 ①,②,③은 Fig. 9에서 보인 바와 같이 장애물이 육면체인 경우의 보간 대상 방향들이다. 이러한 방법론을 적용하여 다른 형태의 장애물인 경우에도 보간 대상 방향들 중 Start-End 벡터와의 사잇각이 가장 작은 방향축을 선택하면 된다.

(3) RCA의 반복 적용으로 인한 영향

기존의 RCA 방법은 두 점 사이의 경로 설정에 초점을 맞추었으며 따라서 노드를 움직여도 문제가 없다. 하지만, 와이어링 경로 설정 문제에 있어서는 각 커넥터와 트랜지션에 RCA를 반복적으로 적용하기 때문에 문제 발생의 소지가 있다. 즉, 커넥터 A와 트랜지션 B 사이의 경로에 RCA를 적용하여 중간 경유 노드를 옮겼을 경우, 그 옮기기 전 노드를 다른 경로가 이용해야 한다면 최척의 경로를 찾지 못할 것이다.

따라서, 노드를 옮기는 것이 아니라 새로운 위치에 노드를 생성하는 방향으로 진행되어야 한다.

(4) 간섭 검색

앞에서 언급하였듯이 RCA 방법은 경로를 옮기는 도중 간섭이 일어날 수 있다. 이를 방지하기 위한 것으로 이동 중 계속하여 간섭 검색을 하여 간섭이 일어나면 RCA를 정지하는 방법을 생각할 수 있다. 하지만, 이 방법은 다음과 같은 문제점을 가진다.

만약, ①번에서 ②번으로 옮기는 도중 간섭이 발생하였다면 최종 경로는 ①번 경로가 될 것이다. 그러나 ①번 경로와 ②번 경로 사이의 보간 간격이 너무 큰 관계로 정밀한 경로를 얻는데는 실패하고 만다. 이것은 RCA 방법상, 처음 이동량이 나중 이동량보다 월등히 크기 때문이다. 결국, 이렇게 단순히 노드를 옮기기만 하는 방법으로는 적절한 해를 구하기 힘들다는 것을 알 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 개념을 조금 달리 하여 적절한 방향의 축에 노드들을 새로 생성한 후에 처음부터 다시 VGraph방법을 적용하여 경로를 구하는 방식을 택하였다. 즉, 우선 장애물과의 간섭을 고려하지 않고 RCA를 적용하여 새로운 위치에 노드를 생성한다. 그 다음 다시 단위 시행당 이동폭을 적절한 허용한도 내로 줄인 RCA를 적용하되 이번에는 장애물과의 간섭 검색도 병행하여 또 하나의 새로운 노드를 생성한다. 그런 후, 다시 VGraph 방법을 사용하여 출발점으로부터 목표점까지의 경로를 구하게 된다.

단위 시행당 이동폭은 사용자가 어느 정도의 정밀도를 원하는가에 의해 결정된다. 즉, 이동폭이 작아지면 탐색 시간은 증가하되 얻어지는 경로의 정확도는 증가하게 될 것이며, 이동폭이 커지는 경우에는 그 반대가 될 것이다. 다만, 이동폭에 대한 정밀도의 증가, 감소량은 작업공간이 Nonconvex인 관계로 수학적 해답을 구하기는 어렵다. 따라서, 위에서 언급한 이동폭의 허용한도는 설계자의 경험 및 반복을

토대로 적절히 선택된 값이며, 앞으로 이에 대한 보완이 뒤따라야 할 것이다.

4-3-4. 일반화된 RCA 방법(Extended RCA Method)

앞 절에서 언급한 바와 같이 다음과 같은 3차원 최단 경로 설정 방식을 제안한다.

- ① 각 노드들끼리의 Visibility check를 통하여 그 래프 네트워크를 형성한다.
- ② VGraph방법을 적용하여 두 점 사이의 경로를 구한다.
- ③ 모든 중간 경유 노드들의 보간축을 선정한 다음, 간섭을 고려하지 않고 RCA를 적용하여 새로운 노드들을 생성한다.
- ④ RCA의 이동폭을 줄인 후, 이번에는 간섭 검색을 병행하여 간섭이 일어나기 전까지의 위치에 새로운 노드를 생성한다(만약, ③번 과정에서 얻어진 경로가 장애물과의 간섭이 없다면 이 과정은 생략되어야 한다).
- ⑤ 네트워크를 갱신한 후, 다시 VGraph 방법을 사용하여 최단 경로를 계산한다.

이제 남은 작업은 트랜지션의 후보 위치들을 얻는 것인데, 위와 같은 두 점 사이의 최단 경로 탐색법을 각 커넥터들 사이에 적용하여 중간 경유 노드들을 추출해 내면 그것이 바로 트랜지션의 후보가 된다.

4-4. 트랜지션의 위치 결정

이 과정은 사용자 인터페이스 과정이다. 사용자는 시스템이 제공하여 주는 정보들을 바탕으로 적절한 트랜지션 위치를 선택하게 된다. 이 단계에서 시스템

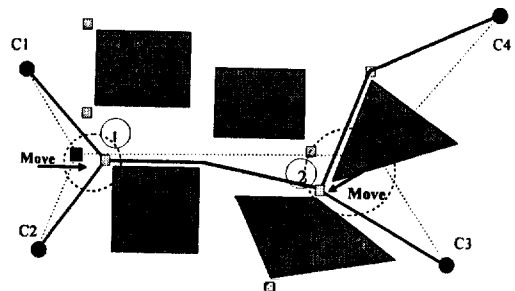


Fig. 12. A user can select each transition's location among candidate nodes provided by the system.

이 사용자에게 제공하여 주는 정보는 다음과 같다.

- ① 장애물을 무시하고 급경사법을 적용하여 얻어진 최적의 트랜지션들과 그 와이어링 경로
- ② 트랜지션의 후보 위치들

앞에서 잠깐 언급하였듯이, 2차원 공간에서는 최적의 트랜지션 위치가 후보 위치들 중에 있다고 말할 수 있지만, 3차원 공간인 경우도 항상 적용되지는 않는다. 따라서, 시스템은 후보 위치들 이외에

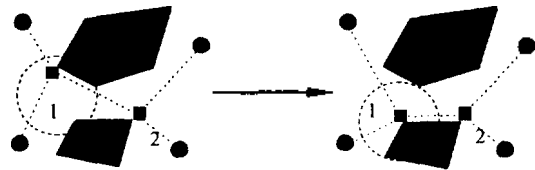


Fig. 13. Reuse of previously calculated path.

다른 곳에도 트랜지션을 정할 수 있는 기능을 제공하여야 한다. 그 1차적인 대상은 장애물 꼭지점에 위치한 노드들, 그리고 장애물을 무시한 상태에서 초기 트랜지션 위치들이며, 이 외에도 사용자가 원한다면 임의의 3차원 상의 점을 택할 수도 있다. 위의 과정을 2차원 환경 상에서 표현하면 Fig. 12와 같다.

위와 같이 트랜지션의 위치를 바꿔주면 시스템은 선택된 트랜지션들을 각각 해당하는 커넥터에 최단 경로로 연결시켜 주고 와이어의 총길이를 제공하므로 사용자는 여러 가지 경우에 대하여 검증한 후 작업 환경에 적합한 최적의 것 하나를 고르면 된다. 선택의 기준은 시스템을 사용하는 사용자의 환경에 따라 달라질 수 있는데 예를 들어 와이어의 총길이를 가장 적게 하는 것을 기준으로 삼을 수도 있고, 생산단가를 최소화해서 선택할 수 있다.

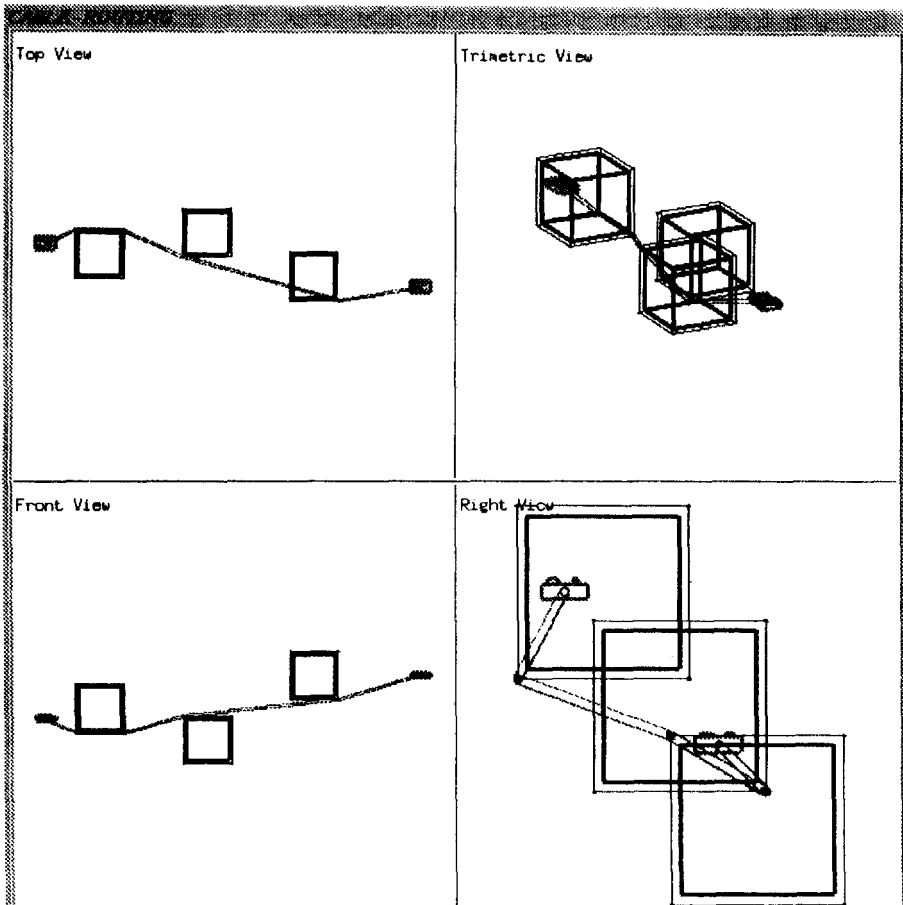


Fig. 14. A path between two points by VGraph.

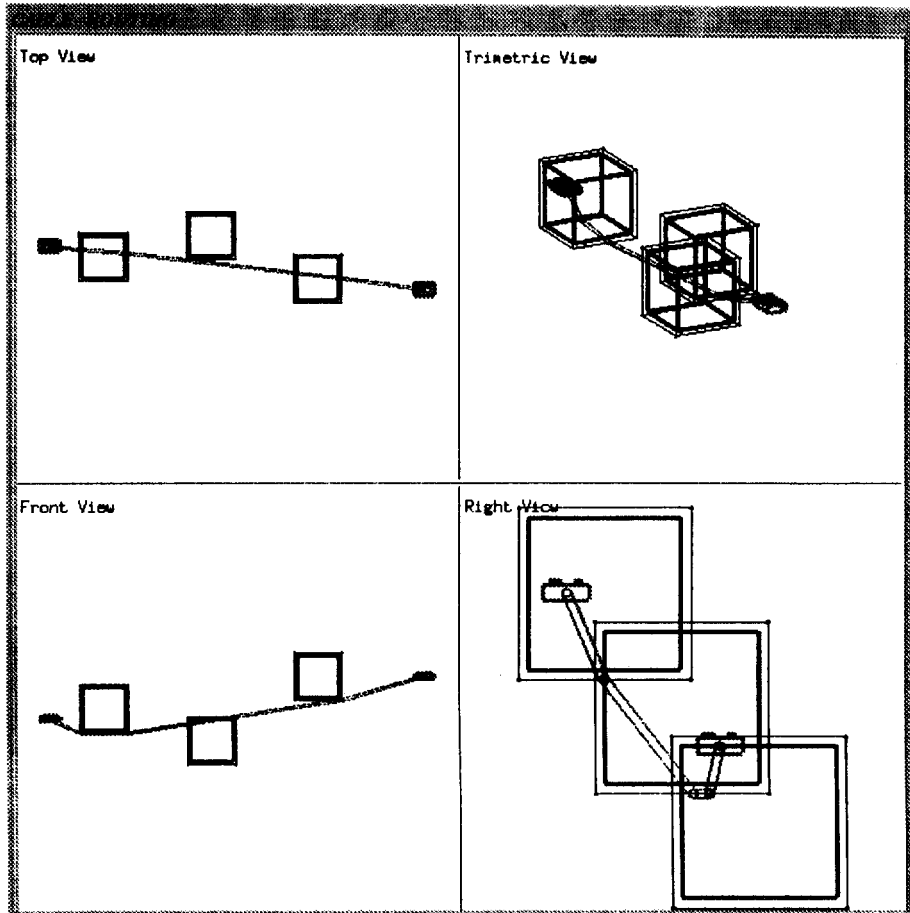


Fig. 15. A shortest path between two points by Extended RCA.

4-4-1. 정보의 재사용

트랜지션의 위치를 바꾸어 가며 테스트를 할 때, 이전의 설계 정보를 재사용할 수 있는 경우가 있다. 설계 정보의 재사용이란 경로를 바꾸어 가며 테스트를 할 때에, 바뀌지 않는 부분의 경로는 다시 계산할 필요가 없으므로 이전에 계산한 경로를 다시 이용한다는 개념이다. 이전의 경로에서 재사용되는 부분과 다시 계산되어야 하는 부분의 경계를 경계점이라 한다면, 경계점은 곧 트랜지션의 위치가 된다.

Fig. 13에서 보여진 바와 같이, 1번 트랜지션의 위치만 바뀌므로, 1번 트랜지션에 연결된 3개 번들의 정보만 바뀌면 될 것이다. 시스템은 사용자에게 지역적 이동과 전체적 이동 중 하나를 선택하게 하여 만약, 지역적 이동일 경우 Dependency Structure를 검사하여 옮겨진 트랜지션과 연결된 번들에 대해서

만 새로 최단 경로를 탐색한다. Dependency Structure란 모든 번들, 커넥터, 트랜지션, 노드들 사이의 연결 정보를 담은 데이터 구조를 말한다.

5. 시스템의 구현

본 논문에서 개발된 시스템은 Sun-Sparc 10 워크스테이션 상에 미국 Concentra社의 ICAD(ver. 4.0) 시스템을 사용하여 구축되었으며, 사용 언어는 Franz社의 Allegro Common-Lisp이다. ICAD 시스템은 자체 CAD 모듈을 내장하고 있고, 객체 지향형 프로그래밍 환경을 제공하여 코딩 작업 시의 생산성을 높여준다.

5-1. 두 점 사이의 최단 경로 설정

아래 그림들은 3차원 공간 상에 놓인 두 점 사이

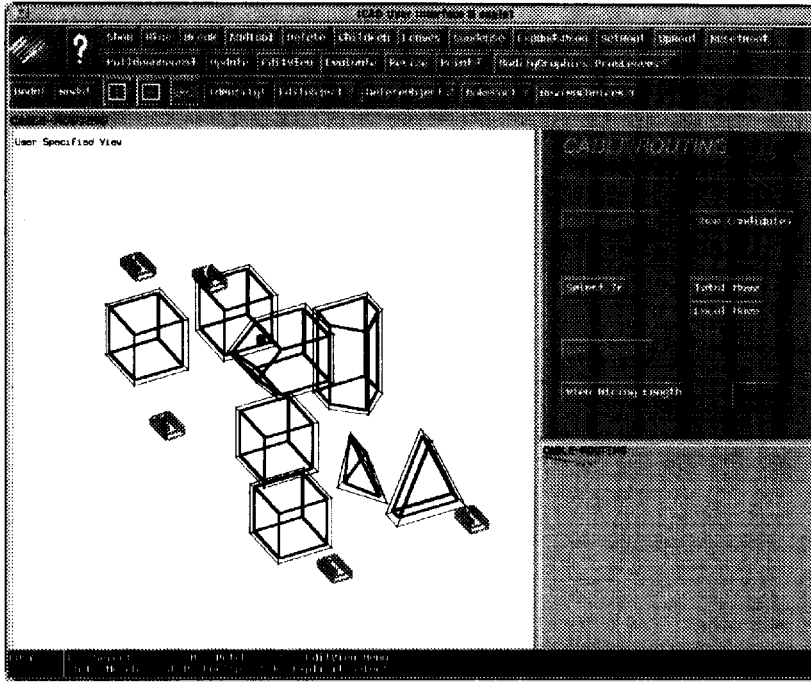


Fig. 16. An initial state workspace of 5 connectors and 8 obstacles.

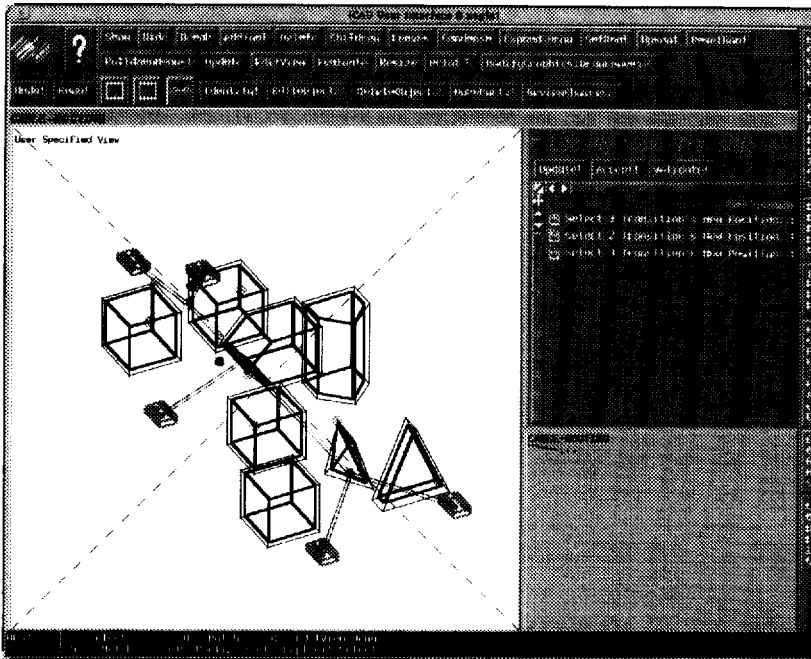


Fig. 17. A final result-wire path routing of a workspace in Fig. 16.

의 최단 경로를 구성하는 예를 보인다. Fig. 14는 두 점 사이에 VGraph방법으로 경로를 설정한 예이며,

Fig. 15는 VGraph로 얻은 경로를 Extended RCA로 보간한 경로를 보인다.

5.2. 와이어 하니스에의 적용

아래 그림 Fig. 16은 5개의 커넥터와 3개의 트랜지션을 가지는 작업환경의 초기 상태 화면이다. 여기에 Extended RCA를 적용하여 라우팅을 한 결과가 Fig. 17에 나와 있다. 설계자는 사용자 인터페이스를 통하여 트랜지션의 위치를 바꾸어 줌으로써, 여러 가지 경우에 대하여 경로 설정 테스트를 할 수 있으며, 그 중에서 원하는 것을 선택할 수 있다.

6. 결론 및 고찰

본 연구에서는 설계사와의 고수준의 인터페이스를 통해 자동차 전장 경로를 설정하는 시스템의 개발을 다루었다.

설계자는 시스템에 의해 자동적으로 얻어진 전장 경로에 원하는 부분만 수정하면 되므로 시간 소비적인 초기 라우팅 작업을 하지 않아도 되며, 따라서 시스템 구축시에 고려되지 않은 특별한 경우의 제한 조건들만을 고려하는 데에 자신의 노력을 집중시킬 수 있다.

본 연구에서 얻어진 결론을 종합하면 다음과 같다.

1. 기존의 최단 경로 탐색법인 VGraph 방법을 개선한 Extended RCA(Extended Recursive Compensation Approach)법을 개발, 적용하였다.
2. 설계 변경시에 이전의 설계 정보를 재사용할 수 있는 Dependency structure를 이용하여, 불필요한 반복 계산 과정을 줄이고 시스템의 효율을 높였다.
3. 기존에 행하여지던 시간 소비적인 단순 작업을 자동화 할 수 있도록 하였으며, 결과적으로 설계자는 설계의 고수준 업무에 집중할 수 있다.

향후 연구 개발 방향으로 시스템 구성의 중요 이슈라 할 수 있는 제한조건의 구축에 있어서는 제한 조건들을 미리 지정해 주는 방식과 설계자가 수정 작업을 통해 점진적으로 보충하는 방식 사이의 절충을 들 수 있다. 구축 시에 고려하여야 할 사항으로 「제한 조건들이 즉시 시스템의 모델과 조합될 수 있는가?」 「그에 따른 문제의 복잡성은 어떠한가?」 「제한 조건으로써 탐색공간을 줄일 수 있는가?」 등이 이에 해당한다 하겠다. 예를 들어, 「접촉 방지」와 같

은 요구 조건은 비교적 프로그래밍 하기 용이한 반면, 애매모호한 조건들 -유지보수성, 미적가치- 의 인식과 그 개선 및 유연성 있는 사건 대처에 있어서는 사람이 컴퓨터보다 훨씬 뛰어나다.

결국, 사람의 능력과 컴퓨터의 능력을 어떻게 잘 조화시켜서 설계 프로세스를 가장 효율적으로 진행시킬 수 있을 것인가 하는 것이 시스템 구성의 관건이며, 본 연구도 이 점에 초점을 맞추어 향후 진행될 예정이다.

본 논문에서 개발된 모듈은 경로 예측의 초기 단계와 최종 단계에서 제한 조건에 수정을 가하거나 덧붙이는 작업을 함으로써 다른 라우팅 분야(선박이나 빌딩의 배관 설계)에도 응용될 수 있다.

참고문헌

1. Park, H., Conru, A.B., Cutkosky, M. and Lee, S-H, "An Agent-based Approach to Concurrent Cable Harness Design," Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing(AI EDAM), No. 8, pp.46-61, April 1994.
2. Conru, A.B. and Cutkosky, M.R., "Computational Support for Interactive Cable Harness Routing and Design" Center for Design Research, Stanford Univ.
3. 이수홍, 최두선, "자동차 전장용 에이전트 기반 시스템 연구", 한국 자동차 공학회 논문집, Vol. 1, Number 3, pp.83-94, November 1993.
4. 이수홍, "설계의 병행 엔지니어링 기법", 기계와 재료(한국 기계 연구소), Vol. 5, No. 3, pp.115-130, 1993.
5. Park, H., Lee, S.H., Cutkosky, M.R., "Computational Support for Concurrent Engineering of Cable Harness," Center for Design Research, Stanford University & Lockheed Missiles and Space Co.
6. Latombe, J-C, "Robot Motion Planning," Boston, Mass: Kluwer Academic Publishers, Chap 4. pp.1-16. Appendix C, 1990.
7. Janet, J.A., Luo, R.C. and Kay, M.G., "The Essential Visibility Graph: An Approach to Global Motion Planning for Automation Mobile Robots," IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1958-1963, 1995.
8. Winston, W.L., *Introduction to Mathematical Programming: Application and Algorithms*, Thomson Information Publishing Group, pp.664-751, 1992.
9. 김재희, "인공지능의 기법과 응용", 교학사, pp.35-70, 1992.
10. Nilsson, N.J., *Problem-Solving Methods in Artificial*

Intelligence, McGraw-Hill Book Company, U.S.A. 1971.

11. Lawler, E.L. and Wood, D.E., "Branch and Bound Methods: A survey," *Operations Research*, pp.699-719, July-August, 1966.
12. Chung, C.H. and Saridis, G.N., "Obstacle Avoidance Path Planning by the Extended VGraph Algorithm," Department of Electrical, Computer and Systems Engineering, Rensselaer Polytechnic Institute Troy, New York.



임 성 혁

1994년 연세대학교 기계공학과 학사
 1996년 연세대학교 기계공학과 석사
 관심분야: CAD/CAM 지식 기반 시스템 설계, 동시공학설계



이 수 홍

1981년 서울대 기계공학과 학사
 1983년 서울대 기계설계학과 석사
 1991년 Stanford 대학 Design Division
 Concurrent Engineering 전공, 박사
 1991년 ~ 1992년 Lockheed Missile and Space Co. Cable Harness Design System 개발 Post-Doc.
 1983년 ~ 1994년 KIMM CAD/CAM실, 선임 연구원
 1994년 ~ 현재 연세대학교 기계공학과, 부교수
 관심분야: 동시공학설계, 지식기반시스템 설계, DFM