

# 도장공정의 로봇자동화를 위한 설계지원 시스템

서석환<sup>\*</sup>, 조정훈<sup>\*\*</sup>, 강대호<sup>\*\*</sup>

## Computer Aided Design System for Robotic Painting Line

Suk-Hwan Suh<sup>\*</sup>, Jung-Hoon Cho<sup>\*\*</sup>, Dae-Ho Kang<sup>\*\*</sup>

### Abstract

For successful implementation of robotic painting system, a structured design and analysis procedure is necessary. In designing robotic system, both functional and economical feasibility should be investigated. As the robotization is complicated task involving implementation details (such as robot selection, accessory design, and spatial layout) together with operation details, the computer aided design and analysis method should be sought. However, conventional robotic design systems and off-line programming systems cannot accommodate these inquiries in a unified fashion. In this research, we develop an interactive design support system for robotization of a cycle painting line. With the developed system called SPRPL (Simulation Package for Robotic Painting Line) users can design the painting objects (via FRAME module), select robot model (ROBOT), design the part hanger (FEEDER), and arrange the workcell. After motion programming (MOTION), the design is evaluated in terms of: a) workspace analysis, b) coating thickness analysis, and c) cycle time (ANALYSIS).

**Key Words** : Robot System Design, Robotic Painting, Off-line programming system, Computer Aided Design

### 1. 서 론

도장공정은 생산공정의 마무리 작업으로서 제품의 보호 뿐만 아니라 외관을 결정짓는 중요한 공정이다. 산

업용 로봇트를 이용한 도장작업은 작업자의 기피현상과 품질향상에 대처할 수 있는 강력한 대안으로서 국내외에서 이에 관한 시도가 활발히 이루어 지고 있다. 비록 로봇틱 도장기술은 연구단계를 거쳐 실용화 단계에 접

<sup>\*</sup> 포항공과대학교 산업공학과

<sup>\*\*</sup> 포항공과대학교 산업공학과 대학원

어 들었다고 볼 수 있지만, 이를 현장에 도입하기 위해서는 고려되어야 할 많은 요건이 있다. 이른바 도입기술로 일컬어 지는 현장화 기술은 개발된 기술의 토착화를 위해 매우 중요하나, 많은 경우에 간과되고 있는 실정이다. "실험실에서는 잘되는 것이 현장라인에서는 안 된다"는 상충성을 해소하기 위해서는 도입의 단계에서 기술적, 경제적 타당성의 면밀한 검증이 필수적이다.

로봇적 도장화 기술은 로봇트 뿐만 아니라 주변구성원, 피도물의 형성등 고려되어야 할 요건들이 복잡하게 연관되어 있기 때문에, 일반적인 타당성 검증방식은 실효성이 떨어진다. 현재 개발된 대부분의 오프라인 프로그래밍 시스템(1-4)은 주로 동작계획용으로 개발되었기 때문에 설계지원 시스템으로는 활용이 어렵다. 뿐만 아니라, 설계의 목적이 하드웨어 설치 이전에 기술적 타당성검토의 수단으로서 활용할 수 있는 설계 및 운용을 일관지원하는 시스템은 발표된 바 없다.

본 연구에서는 자전거 프레임 도장공정의 로봇적 자동화를 목적으로, 로봇트 모델의 선정에서부터 피도물 이송장치 및 작업장 배치등을 대화형 그래픽으로 설계하고 이의 타당성을 검증할 수 있도록 하고, 나아가서는 로봇트동작계획 까지를 포괄적으로 수행할 수 있도록 함으로써 검증의 구체성을 기할 수 있도록 개발되었다. SPRPL (Simulation Package for Robotic Painting System)로 명명된 개발된 시스템은 로봇적 도장시스템을 구축함에 있어서 하드웨어를 설치하기 이전에 컴퓨터에서 설계대안을 도출하고, 이를 분석 검증하는 기능을 지원하는 툴로서, 사용자는 이를 이용하여 작업장설계, 작업장운용 등을 일관 수행할 수 있으며, 일단 설치후에는 동작계획용 오프라인 프로그래밍 시스템으로 활용할 수 있다.

구조적으로, SPRPL은 인간(사용자)은 설계 및 동작아이디어를 창출하고, 컴퓨터는 이를 분석검증해주는 전형적인 Computer Aided Design의 패러다임을 취하고 있으며, 최최안의 도출 및 타당성 결정은 궁극적으로 사용자에게 의함을 주기하며, 아울러 본 시스템은 비록 자전거 프레임을 피도물 형상으로 설정하고 있으나, 여기서 제시된 방식은 여타의 도장공정에도 적용될 수 있음을 주기한다. 개발된 시스템의 기능과 활용성을 부각하기 위하여, 본 논문에서는 국내의 자전거생산공

정에 적용한 사례를 포함한다. 대상공정은 현재 자동정전도장에 의해 전체적으로 코팅하고 구석진 부위를 공기분사식에 의해 수작업으로 수행하고 있다. 본 시스템을 사용하여, 타치업공정의 로봇적 자동화를 위한 제반의 설계 및 기술적 타당성을 검증할 수 있음을 보인다.

## 2. 설계지원 시스템

Off-line 설계지원 시스템의 기능은 대상공정의 작업분석, 3차원 작업장 모델링, 로봇트의 역학모델링, 동작프로그래밍 및 프로그램 검증기능과, 로봇트와 프로그래밍간의 인터페이스, 사용자에게 편리한 프로그래밍 환경으로 집약된다. 본 연구의 설계지원 시스템의 목적은 실제로 하드웨어를 도입 설치 하기 이전에 컴퓨터에서 검증하는 것으로서, 이를 위해서는 각 구성원의 모델링의 정확성과 효율적인 입출력 뿐만 아니라, 3차원 워크셀의 상황을 2차원 컴퓨터 화면에서 사용자가 입력

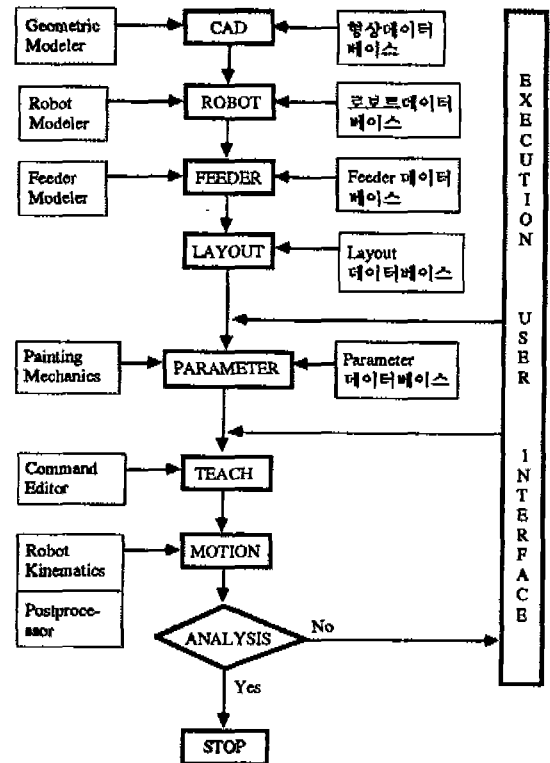


Fig. 1 설계지원 시스템의 구조도

하고 검증하는 가시성이 필수적이다.

구체적으로, 본 연구에서 개발된 시스템 SPRPL은 Fig. 1의 구조에 의해 C언어로PC-486에 구현되었으며, 다음의 설계요건을 선정하고 검증할 수 있도록 개발되었다: 가) 로봇트사양, 나) 이송장치 규격, 다) 워크셀 배치, 라) 로봇트동작계획 (타치업 및 오버스프레이), 마) 사일클타임 분석, 바) 코팅두께 분석. 이를 지원하기 위해 SPRPL은: 1) FRAME, 2) ROBOT, 3) FEEDER, 4) LAYOUT, 5) TOUCHUP, 6) O-SPRAY, 7) VIEW 모듈로 구성되며, 이하에서 각 모듈의 기능을 구체적으로 설명한다.

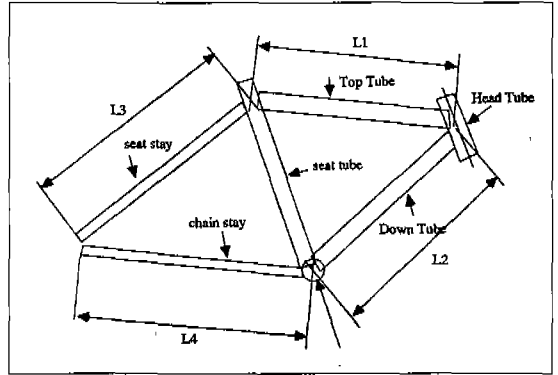


Fig. 2 자전거 프레임 형상.

2.1 피도물 형상설계 및 페인팅 부위 설정 (FRAME 모듈)

FRAME 모듈은 자전거 프레임의 설계 및 수정에 사용되며, 4면도를 통해 도면의 칫수를 바로 입력할 수 있도록 설계되었다. 자전거 프레임은 전체적으로 유사한 형태를 취하기 때문에 파라메트릭 CAD 방식을 지원함으로써 입력 및 수정의 용이성을 기하였다. 예컨대, 한면의 칫수를 변경하면, 다른 면의 해당칫수도 자동수정되도록 함으로써 칫수기입의 회수를 최소화함과 동시에 상충성을 해소하는 것이다. Fig. 2는 대표적 프레임'형상을 도시하며, 모델에 따라 치수 및 각도가 달라진다. 프레임은 실린더 조합으로 개략화 될 수 있으며, 각각의 실린더는 시작점과 방향벡터, 실린더 반지름 등의 파라미터로 정의된다. 기본적으로 10개의 파라미터는 데이터베이스에서 포함하고 있으며, 이의 변경 및 신설이 용이하도록 서브모듈이 설계되었다.

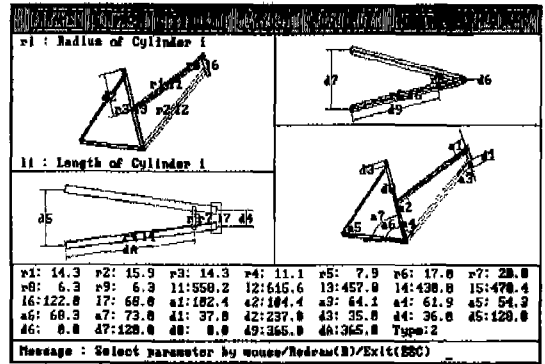


Fig 3 프레임 파라미터의 수정.

부위의 위치와 크기를 지정하도록 설계되어 있다.

2.2 로봇 모델의 지정 (ROBOT 모듈)

이 모듈은 작업장에 배치할 로봇트를 선정하며, 필요한 경우에는 로봇트 파라미터(링크길이, 관절각 범위, 움직임, 뒤틀림 각 등)를 수정하는 기능을 제공한다. 로봇트데이터베이스는 기본형과 수정형으로 구분되며, 기본형은 현재 상용화되고 있는 주요 로봇트 모델의 형상 및 파라미터를 제공하고, 수정형은 기본형에서 파라미터가 수정된 데이터를 보유한다. 이는 다수의 상용로봇트가 형상 (Kinematic configuration)은 같으나, 링크 파라미터에서 다른 점을 포괄적으로 취급하기 위한 방안이다. 현재 수록된 기본형은 도장용 로봇트로서 대중을 이루고 있는 Trallfa, GMF와, 도장용은 아니지만 도장용으로 활용가능한 Yaskawa, PUMA 등이다. 그러나, 여기에 포함되지 않은 새로운 모델도 쉽게 추가할 수 있도록 설계되었음을 첨언한다.

FRAME에서 제공하는 서브모듈로는 NEW, LOAD, DRAW, MODIFY, SAVE, PAINT AREA가 있다. NEW는 새로운 프레임 (데이터베이스에서 제공하지 않는 새로운 형태)을 설계시에 사용되고, LOAD는 데이터베이스에서 기존모델을 부르고, MODIFY는 기존모델의 수정을 통한 새로운 모델의 설계시에 이용되며, 프레임의 형상은 DRAW에 의해 화면에 도시되고, SAVE는 설계된 형상의 저장을 담당하고, 도장부위의 저장은 PAINT AREA에 의한다. Fig. 3은 로드된 프레임형상을 수정하는 화면을 도시하고 있으며, 사용하는 파라미터의 수정에 따른 형상을 즉각적으로 볼 수 있다. 타치업 부위는 마우스에 의해

ROBOT 모듈은 데이터베이스 입출력 및 도시에 관련된 LOAD, DRAW, SAVE, SAVE AS 서브가 기능 이외에 &TRACK, MODIFY 기능을 하위모듈로서 제공한다. &TRACK은 로봇트가 선행트랙과 같이 사용되는 경우에 트랙의 형상 및 스펙을 설계할 수 있도록 지원하며 (Fig. 4), MODIFY는 수정형의 로봇트의 링크 파라미터를 입력하는 과정을 지원한다.

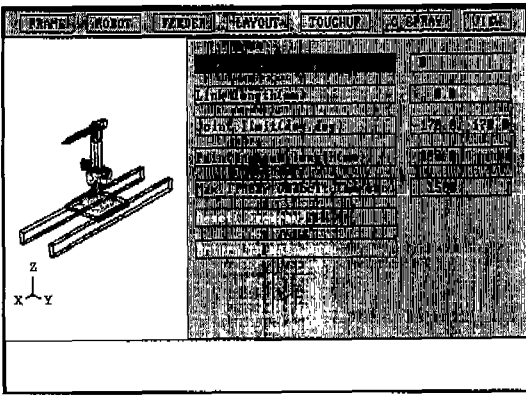


Fig. 4 로봇트 및 트랙의 설계.

### 2.3 피도물 이송장치의 설계 FEEDER 모듈)

FEEDER는 자전거 프레임의 도장작업을 연속적으로 수행하기 위한 이송장치를 설계하는데 사용된다. FEEDER의 파라미터는 hoist length, frame 적재 간격, feeder의 이송속도 및 도시에 관한 LOAD, DRAW, SAVE 기능과, 파라미터의 수정을 지원하는 MODIFY 기능을 하위모듈에서 제공한다. Fig. 5는 MODIFY 기능을 통하여 이송장치의 파라미터를 수정하고 있는 화면을 도시하고 있으며, 여기에는 선정된 프레임이 적재된 상태 (프레임 형상, 위치, 페인팅 부위를 포함)에서의 이송장치를 포괄적으로 도시하여 줌으로써 설계의 가시화를 도모하고 있다.

### 2.4 작업장 설계 및 배치 (LAYOUT 모듈)

이상에서 설계된 FRAME, ROBOT, FEEDER 모델의 워크셀 배치는 LAYOUT 모듈을 통해 이루어진다. LAYOUT 모듈은 화일 입출력 기능 (LOAD, SAVE)과 각 구성원의 위치 및 자세를 3차원 view 기능을 통하여 손쉽고 효율적으로 지정할 수 있도록 하는 제반의 기능 (PLACE)을 제공하고 있다. PLACE는

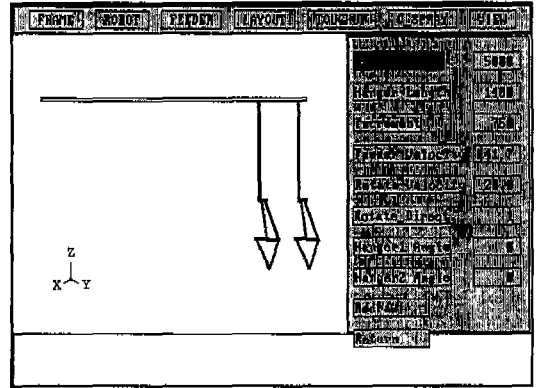


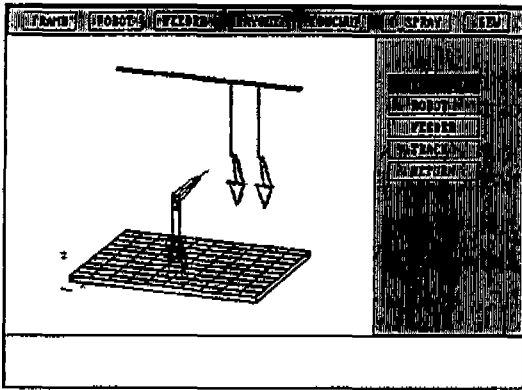
Fig. 5 이송장치 파라미터의 입력 및 수정.

작업장크기와, 선정된 frame, robot, feeder의 위치를 default layout의 형태로 제공하고, 사용자가 각각의 구성원의 위치 및 자세를 독립적으로 수정하는 과정을 지원한다.

에किन데, 사용자는 Fig. 6(a)의 default 배치 화면에 수정할 구성원을 지정함으로써, 작업장 크기, 로봇트의 위치, 트랙의 위치, 이송장치의 위치를 수정할 수 있다. Fig. 6(b)는 로봇트의 배치를 수정하고 있는 화면이다. 또한 이들의 위치 파라미터는 워크셀의 좌표계를 기준으로 각 구성원의 object 좌표계를 여러 각도의 view 기능과 마우스를 통해 입력 받도록 설계되었다. 설정된 배치의 타당성 혹은 효율성은 로봇트 작업볼륨 분석기능과, 3차원 view 기능을 통해 이루어진다.

### 2.5 타치업 작업의 로봇트 동작계획 (TOUCHUP 모듈)

타치업작업은 정전도장등에 의해 코팅되지 않은 피도물의 일부를 air spray를 통해 코팅하는 것으로서, TOUCHUP 모듈은 앞서 설계된 상황에서 타치업작업을 위한 로봇트의 동작을 계획하고 검증할 수 있는 일체의 기능을 제공한다. 구체적으로, TOUCHUP 모듈은 Fig. 7(a)의 화면에서: 1) 도장조건을 지정하는 PAINT CAND., 2) off-line teaching을 joint 조작키로 지정하는 JOINT TEACH, 3) 피도물을 대상으로 분사건 (Spray gun)의 동작을 지정하는 (cartesian) TEACH, 4) 도장순서를 지정하는 PAINT SEQ., 5) 로봇트동작의 시뮬레이션을 제공하는 ANIMATION, 6) 동작결과를 피막두께의 분포와



(a) 초기배치

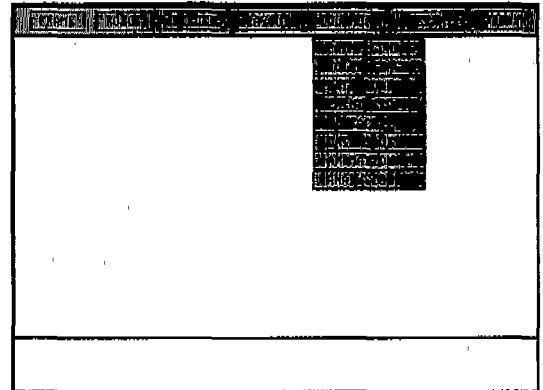
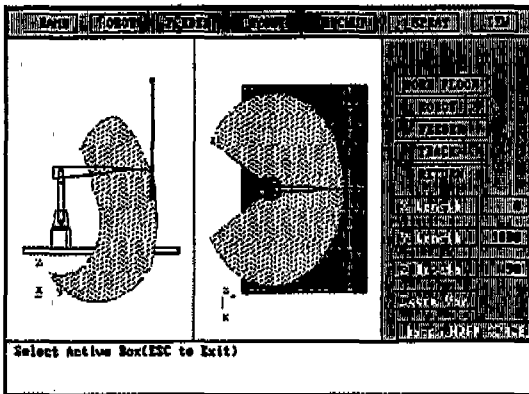


Fig. 7(a) 터치업 모듈의 선택화면



(b) 로봇의 배치

Fig. 6 LAYOUT 모듈 예

사이클타임으로 제공하는 ANALYSIS, 7) 기타 화일 입출력을 담당하는 하위모듈로 구성된다.

구체적으로, PAINT CAND.을 통하여 사용자는 이후의 동작계획 및 분석모듈에서 사용될 도장조건을: 가) 원하는 코팅두께 (desired thickness), 나) 두께의 상한치 (overcoat thickness), 다) 두께의 하한치 (undercoat thickness), 라) 페인트유출율 (flow rate), 마) 분사각 (spray angle), 바) 페인트 이송 효율 (transfer efficiency), 사) 페인트색깔 등을 지정한다. JOINT TEACH는 터치펜던트를 화면에 구현한 것으로서 (Fig. 7 (b)) 로봇 및 주변장치의 동작을 지정받는 버튼으로 구성된다. 여기에는 가) 프레임

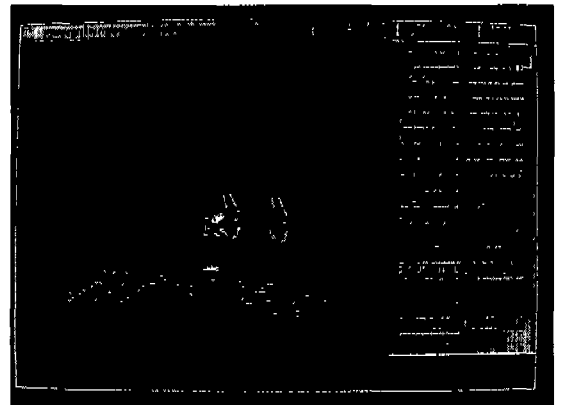


Fig. 7(b) JOINT TEACH 화면

의 회전, 나) 트랙상의 로봇베이스 위치 지정, 다) 로봇동작의 지정 및 기억, 라) 화면도시를 위한 viewing direction 지정버튼으로 구성된다. 로봇의 동작은 다시 3개의 모드로 세분시켰으며, 조인트좌표계 (모드 0), tool 좌표계 (모드 1), 직교좌표계 (모드 2), 사용자는 필요에 따라 선택적으로 사용할 수 있다. 모드 0은 6관절의 각을 독립적으로 지정하고, 모드 1은 분사건을 중심으로 직교좌표계상의 운동으로서 지정하며, 모드 2는 분사건을 작업물의 좌표계와 연관지어 표시하는데 사용된다.

각각의 모드에 따라 화면 우측의 키는 다른 기능을 수행하도록 설계되었으며, 아울러 동작의 교시과정을 다양한 view 기능으로 도시한다. 예컨데, MACRO VIEW를 이용하여 로봇의 큰 동작을 ZOOM ALL,

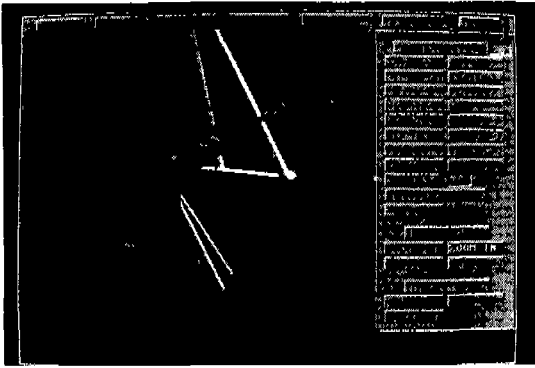


Fig. 7(c) MACRO VIEW 예

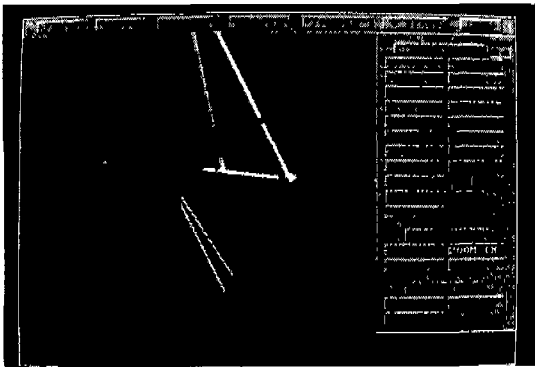


Fig. 7(d) MICRO VIEW 예

ZOOM IN, POINT VIEW로서 여러곳의 동작을 관찰할 수 있고(Fig. 7(c)), 일단 로봇트가 페인팅 부위로 이동하고 나면 MICRO VIEW를 이용하여 네 방향에서 동시에 관찰하고 동작을 계획할 수 있다(Fig. 7(d)).

이상에서 설명한 JOINT TEACH 방식은 일일이 로봇트의 자세를 teach pendent(화면상의 것임)로 교시해야 하므로 불편한 경우가 있다. 로봇트의 동작을 프레임의 타치업부위를 중심으로 동시에 교시하는 방법으로서 CARTESIAN TEACH 방법을 사용할 수 있다. Fig. 7(a)의 DATA LOAD, PAINT SEQ, TEACH, DATA SAVE 서브모듈이 이를 지원하기 위한 버튼들이다. DATA LOAD 및 DATA SAVE는 동작데이터의 입출력 지원기능이며, PAINT SEQ는 프레임 상에서 타치업 부위의 순서를 지정한다. 타치업 부위는 프레임의 자세가 전후면에 걸쳐 존재하고, 뒷면

은 페인트가 전달되지 않기 때문에 각 면을 별도로 지정한다(Fig. 7(e)).

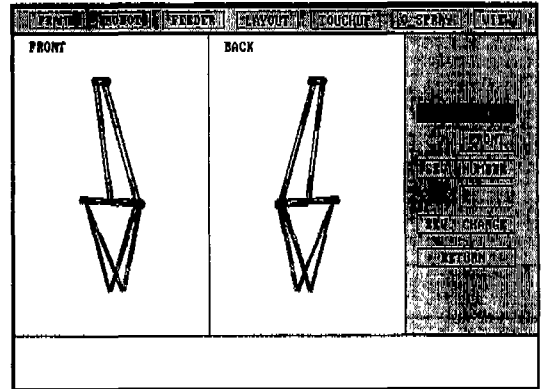


Fig. 7(e) 도장순서의 지정 (PAINT SEQ)

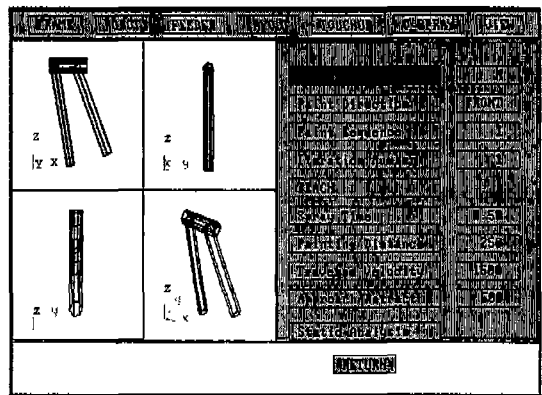


Fig. 7(f) Cartesian TEACH 화면

페인트 순서가 정해지면 (Cartesian) TEACH 모드로 들어간다. 타치업 교시화면은 Fig. 7(f)와 같으며, 우측의 버튼을 이용하여 분사건의 위치 및 자세를 교시한다. 분사건의 위치 및 자세를 프레임상에 분사지점으로부터 결정하기 위해서는 분사건의 자세벡터와 분사거리가 필요하다. 본 시스템에서는 분사거리는 PAINT COND. 을 통해 입력된 값을 사용하고, 자세벡터는 분사평면을 지정받는다. 분사평면은 세 점에 의해 설정되고 사용자로 하여금 프레임 상의 세 점을 지정받는다. 타치업 부위간의 이동동작은 approach/departure로 구성되기 때문에 이를 위한 축간거리(분사건의 자세축)와 급승이송속도등을 입력받는다. 타치업을 위한 로봇트의 동작은 접근(approach), 타치업분사, 후퇴

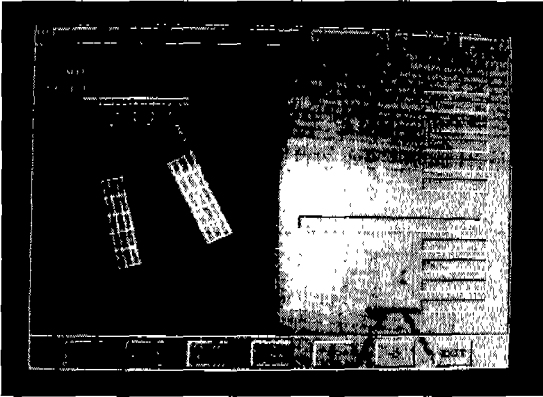


Fig. 7(e) Cartesian TEACH 화면

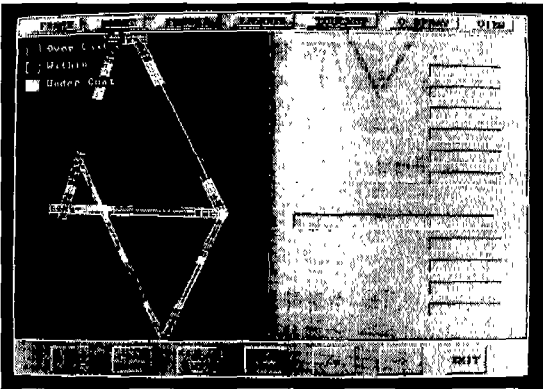


Fig. 7(h) 전체적 분석화면

(departure), 다음 점의 접근(approach) 위치로의 이송동작이 반복적으로 실행된다.

교시된 로봇의 동작은 ANIMATION을 통하여 동작상황을 그래픽으로 확인할 수 있으며, 분석결과를 ANALYSIS 모듈을 통하여 코팅두께의 분포를 나타내는 color map과 사이클타임으로 도시된다. 이는 타치업 부위별로 혹은 전체적으로도 수행시킬 수 있기 때문에 타치업동작을 효율적으로 교시하고 수정할 수 있는 주요 수단이 된다. Fig. 7(g)~Fig. 7(h)에서 ANALYSIS 모듈을 국부적/전체적으로 수행한 결과를 도시하고 있다.

## 2.6 오버스프레이 작업의 로봇 동작계획 (O-SPRAY 모듈)

로봇을 이용하여 타치업 작업 뿐만 아니라, 오버스프레이도 가능하다. 오버스프레이는 프레임의 몸통부위를 공기분사식으로 도장하는 작업으로서, 도장 부위만 다를 뿐 다른 조건들은 동일하다. 따라서, O-SPRAY 모듈은 TOUCHUP 모듈과 유사하다.

## 3. 적용사례

개발된 시스템을 이용하여 모 자전거회사의 프레임 타치업공정을 로봇적 자동화로 가기 위한 포괄적인 타당성검토를 수행하였다. 현재 이 회사는 200여개의 모델을 생산하고 있으며, 이중 주요 6개의 모델이 도장공정의 80% 이상을 차지한다. 현재 타치업공정은 2인의 작업자가 공기분사방식에 의해 수행하고 있으며, 이를 한대의 로봇으로 대체하는 안을 검토한다. 검토의 정확도 및 설계성을 위해서는 기술적 검토가 필요하기 때문에, 본 절에서는 로봇의 선정, 이송장치의 규격, 작업장배치, 로봇 동작계획 등을 조직적으로 분석 검토하는 과정을 약술한다. 지면관계상 검토결과를 중심으로 기술한다.

검토를 위한 설계대안으로서 로봇모델, 이송장치, 작업장크기의 각각의 두가지 대안을 조합적으로 분석평가 하기로 한다. 로봇 모델로는 Trallfa 시리즈 TR510 모델 (1안), Motoman-K10S (2안)를 선정하고 (각모델의 사양은 생략), 이송장치로는 기본적으로 호이스트 높이 3.3m, 행어위치 1.0m, 이송속도 0.0417%, 프레임 적재간격 0.75m로 설정하고, 행어의 길이를 1.4m (1안)와 1.7m (2안)으로 검토한다. 작업장 크기로는 4.0m×2.7m (1안), 4.0m×4.1m (2안)을 검토하며, 1안은 현재의 타치업부스의 크기를 반영하고, 2안은 최대확장 크기를 나타낸다. 이하에서는 각 구성원별 대안을 (W\*, R\*, E\*)로 표기하며, 여기서 \*는 1혹은 2이고, W, R, E는 각각 작업장크기, 로봇모델, 행어규격을 의미한다.

### 3.1 작업장 설계

선정된 대안의 조합에 따라 LAYOUT 모듈을 이용해 배치시킨다. 먼저 이송장치의 호이스트라인은 water screen의 750mm 전방에 고정시키고, 로봇의 위치는 각 작업장별로 가장 좋은 대안을 컴퓨터 상에서 layout and evaluation 방식에 따라 다음의 요령으

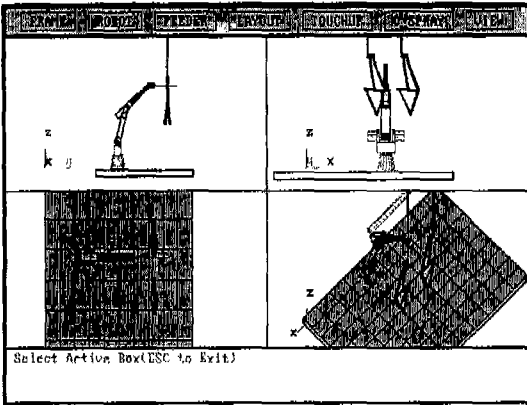


Fig. 8 대안 1의 작업장 구성도

로 최적배치를 도출하였다. 로봇은 프레임을 정면으로 향하도록 하고, 프레임과 로봇의 거리는 프레임의 전 부위를 도장할 수 있도록 로봇의 작업반경이 프레임을 둘러쌀 수 있도록 배치해야 한다. 단, 도장작업시 분사거리를 250mm 정도로 유지하기 때문에 약간 작업공간을 벗어나도 가능하나, 프레임이 회전하는 인덱싱 위치에서는 회전여유를 포함해야 한다. 또한, 분사건의 길이는 팁에서 300mm로 설정하였고, 인덱싱위치는 적재간격의 중간점으로 하였다. 이러한 조건에서 각 안을 배치시킨 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

가) 대안 1=(W1, R1, E1)의 경우: 로봇의 크기가 작으므로 작업장 폭 2.7m에 배치시킬 수 있었으며, 작업블록 분석결과, 프레임이 작업반경에서 벗어나기 때문에 행어의 길이가 1.4m인 경우에는 접근불능으로 나타났다 (Fig. 8). 나) 대안 2=(W1, R1, E2)의 경우: 행어길이를 1.7m로 하였을때, 프레임의 전부위가 작업반경내에 들어오기 때문에 작업에 지장이 없었으며, 이는 대안 3=(W2, R1, E2)의 경우에도 똑같이 적용된다. 반면에 대안 4=(W1, R2, E1)의 경우에는 로봇의 리치가 약 1.5m로서 W1내에 배치시킬 경우, 프레임과의 거리가 너무 근접하여 사실상 불가능한 배치로 판명되었다. 따라서, 대안 5=(W2, R2, E1)처럼 작업장 폭을 1.4m로 확장해야 하며, 이 때에는 프레임간의 거리, 행어의 길이가 별문제 없이 수용되었다.

### 3.2 작업장 운영

여기서는 기도출된 각 설계대안들에 대하여, 작업장

운영 방안을 로봇의 동작계획의 적합도와 코딩두께 및 사이클 타임 분석을 수행함으로써 최종적인 대안을 확정한다. 대상 프레임으로서 크기나 형태가 서로 이질적인 2가지 프레임을 선정하였으며, 각 프레임의 터치업 부위는 Fig. 9와 같다. TOUCHUP 모듈을 이용하

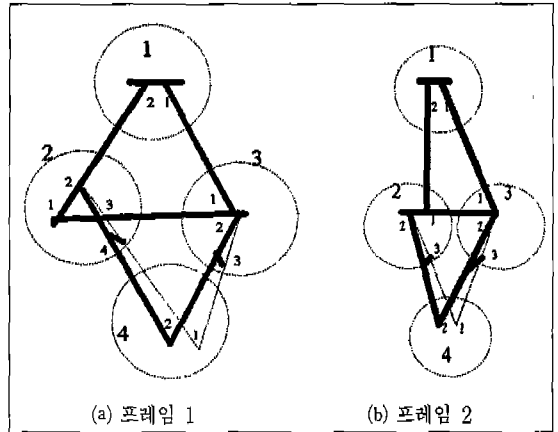
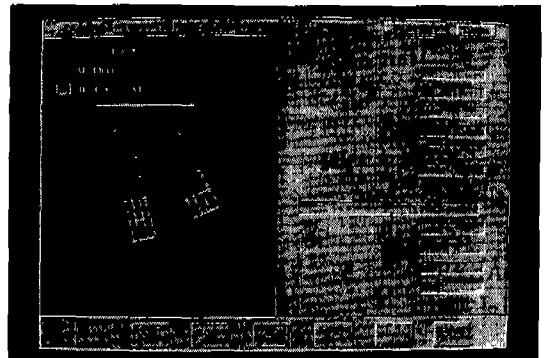


Fig. 9. 두가지 프레임의 터치업부위

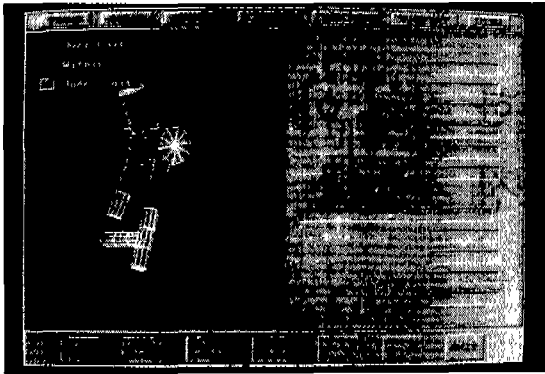
여 페인팅조건치를 설정하고 동작계획 및 분석을 하는 과정을 반복적으로 수행함으로써, 부위별 터치업시간, 두께분포, 급송이송시간을 얻을 수 있었으며, 전체적으로 페인팅 사이클타임을 얻을 수 있었다.

Fig. 10-11은 프레임모델 1의 터치업부위 1번과 3번의 부분적 분석결과와 애니메이션 광경을 도시한다. 이러한 예시과정을 통해 작업장 설계안을 로봇 동작계획과 연계시켜 다양한 분석 및 검증을 일관되게 수행



(a) 터치업부위 1





(b) 타치업부위 3

Fig. 10 프레임 1의 1, 3지역의 국부적 분석결과

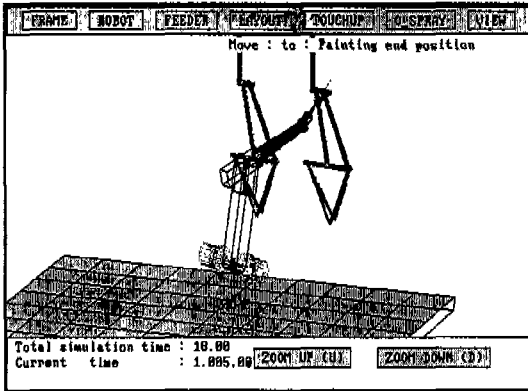


Fig. 11 애니메이션 수행과정

할 수 있었다. 동작분석의 결과 작업장 설계에서 타당한 안은 동작계획상에서 문제점이 발견되지 않았기 때문에, 최적안은 생산공정상의 사이클타임의 요구도와 경제성 분석을 통해 결정되어야 할 것이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 로봇틱 도장시스템의 설계지원 시스템을 개발하였다. 설계지원 시스템은 로봇틱 도장시스템의 설계용으로 뿐만 아니라, 하드웨어 구축에 따른 결과를 사전에 컴퓨터에서 검증할 수 있는 강력한 대안책이다. 설계의 정확도를 검증하기 위한 수단으로서 로봇트 동작계획 모듈을 포함하고 있기 때문에, 본 시스템은 설계지원용으로 뿐만 아니라, 로봇틱 도장시스템의 운용소프트웨어 (오프라인동작계획 프로그램)로도 활용 가능하다. 비록 자전거 도장공정을 대상으로 개발되었지만, 여기서 제시된 기법과 알고리즘들은 다른 산업에도 적용될 수 있다.

#### 참고문헌

1. P. Howie, "Graphic Simulation for Off-line Programming," Robotics Today, 1984, pp. 63-66.
2. G. Duellen, H. Stahlmann, and X. Liu, "An Off-line Planning and Simulation System of the Programming of Coating Robots," Annals for CIRP, vol. 38, no. 1, 1989, pp. 369-372.
3. W. Long, "Off-line Programming Reaches the Paint Spray Booth," in RobCAD Paintmaster Manual, Technomix, 1991.
4. E. Grajo and A. Gunal, "Using QUEST to Develop a Visual Model of an Automotive Paint Shop," Proceedings of user group, KCE, 1993, pp. 13-14.