

# 도장공정의 로봇자동화를 위한 설계 지원 CAD/CAM 시스템

서석환\*, 조정훈\*, 강대호\*, 진지혁\*, 박춘열\*\*

\* 포항공대 산업공학과 CAM Lab., \*\* ㈜코렉스스포츠 생산관리과

## A CAD/CAM System for Designing Robotic Painting Line

Suk-Hwan Suh\*, Jung-Hun Cho\*, Dae-Ho Kang\*, Chi Hyuck Jun\* and Choon-Youl Park\*\*

\* Computer Automated Manufacturing Lab. Department of Industrial Engineering, POSTECH

\*\* Department of Production Management, Corex Sport Ltd.

### 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, a computerized method should be sought. However, any conventional robotic design system and off-line programming system cannot accommodate such a need.

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). By iterative design and evaluation procedure, a feasible and efficient robotic design can be attained. As the developed system has motion planning and analysis features, it can be also used as an off-line robot programming system in operation stage. Including the details of each module, this paper also presents a case study made for an actual painting line.

### 1. 서론

도장공정은 생산공정의 마무리 작업으로서 제품의 보호 뿐만 아니라 외관을 결정짓는 주요한 공정이다. 산업용 로봇을 이용한 도장작업은 작업자의 기피현상과 품질향상을 기할 수 있는 자동화의 대안으로서 국내외에서 이에 관한 시도가 활발히 이루어지고 있다. 비록 로봇적 도장기술은 연구단계를 거쳐 실용화 단

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

로봇적 도장화 기술은 로봇뿐 아니라 주변구성원, 피도물의 형상등 고려되어야 할 요건들이 복잡하게 연루되어 있기 때문에, 일반적인 타당성 검증방식은 실효성이 떨어진다. 현재 개발된 대부분의 오프라인 프로그래밍 시스템 [1-3]은 주로 동작계획으로 개발되었기 때문에 설계지원 시스템으로는 활용이 어렵다. 본 연구에서는 자전거 프레임 도장공정의 로봇적 자동화를 목적으로, 로봇 모델의 선정에서부터 피도물 이송장치 및 작업장 배치 등을 대화형 그래픽으로 설계하고 이의 타당성 혹은 수행도를 분석함으로써, 설계최적화를 기할 수 있는 설계지원 시스템을 개발하였다. 평기의 정확성을 기하기 위해서 로봇의 동작계획까지를 구체적으로 실시하도록 하며, 아울러 피막두께를 도시하도록 개발되었다.

SPRPL (Simulation Package for Robotic Painting Line) 으로 명명된 개발된 시스템은 비록 자전거 프레임을 피도물 형상으로 설정하고 있으나, 여기서 제시된 방식은 여타의 도장공정에도 적용될 수 있다. 개발된 시스템의 기능의 도시와 활용성을 부각하기 위하여, 본 논문에서는 국내의 자전거생산공정에 적용한 사례를 포함한다. 대상공정은 현재 자동 정전도장에 의해 전체적으로 코팅하고 구성된 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, 로봇의 역학모델링, 동작프로그래밍 및 프로그램 검증기능과, 로봇과 프로그램간의 인터페이스, 사용자에 편리한 프로그래밍 환경으로 집약된다. 본 연구의 설계지원 시스템의 목적은 실제로 하드웨어를 도입 설치 하기 이전에 컴퓨터

터에서 검증하는 것으로서, 이를 위해서는 각 구성원의 모델링의 정확성과 효율적인 입출력 뿐만 아니라, 3차원 워크셀의 상황을 2차원 컴퓨터 화면에서 사용자가 입력하고 검증하는 가시성이 필수적이다.

구체적으로, 본 연구에서 개발된 시스템 SPRPL은 그림 1의 구조에 의해 PC-486에 구현되었으며, 다음의 설계요건을 선정하고 검증할 수 있도록 개발되었다: 가) 로봇트사양, 나) 이송장치 규격, 다) 워크셀 배치, 라) 로봇트동작계획 (타치업 및 오버스프레이), 마) 사이클타임 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 각모듈의 기능을 구체적으로 설명한다.

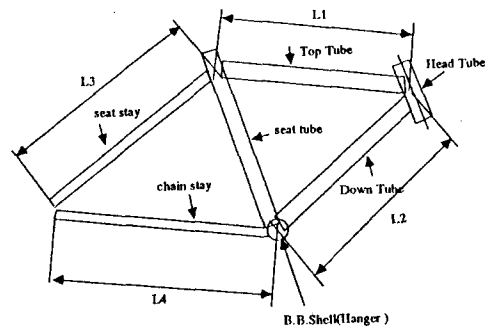


그림 2. 자전거 프레임형상.

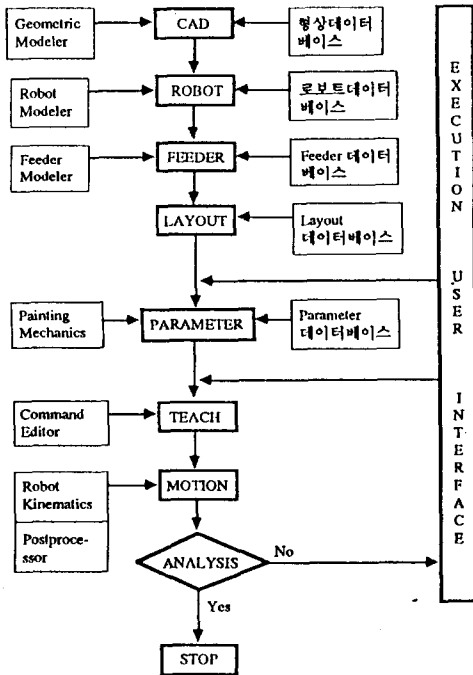


그림 1. 설계지원 시스템의 구조도.

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

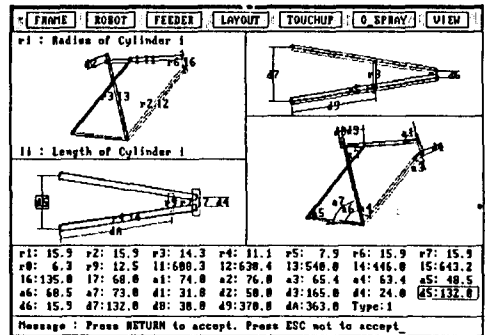


그림 3. 프레임 파라미터의 수정.

## 2.1 피도물 형상설계 및 페인팅 부위 설정 (FRAME 모듈)

FRAME 모듈은 자전거 프레임의 설계 및 수정에 사용되며, 도면분석을 통해 데이터베이스를 갖고 있다. 자전거 프레임은 전체적으로 유사한 형태를 취하기 때문에 파라메트릭 CAD 방식이 적합하다. 그림 2 는 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.

## 2.2 로봇트 모델의 지정 (ROBOT 모듈)

이 모듈은 작업장에 배치할 로봇트를 선정하며, 필요할 경우에는 로봇트 파라미터를 수정하는 기능을 제공한다. 로봇트 데이터베이스는 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, 링크파라미터에서 다른 점을 포괄적으로 취급하기 위한 방안이다. 현재 수록된 기본형은 도장용 로봇트로서 대중을 이루고

있는 Trillfa, GMF와 도장용은 아니지만 도장용으로 활용가능한 Yaskawa, PUMA 등이다. 그러나, 여기에 포함되지 않은 새로운 모델도 쉽게 추가할 수 있도록 설계되었음을 첨언한다.

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

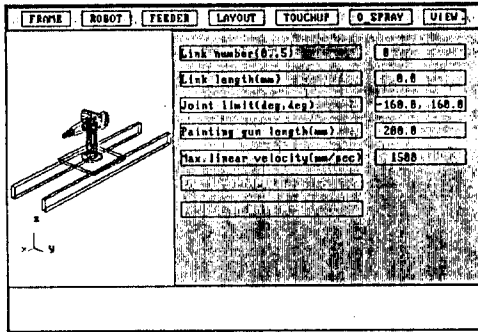


그림 4. 로봇트 및 트랙의 설계.

### 2.3 피도물 이송장치의 설계 (FEEDER 모듈)

FEEDER는 자전거 프레임의 도장작업을 연속적으로 수행하기 위한 이송장치를 설계하는데 사용된다. FEEDER의 파라미터는 hoist length, frame 적재간격, feeder의 이송속도, hanger 위치, hanger의 길이, 회전속도, 회전방향등을 포함한다. FEEDER는 데이터 입출력 및 도시에 관한 LOAD, DRAW, SAVE 기능과, 파라미터의 수정을 지원하는 MODIFY 기능을 하위모듈에서 제공한다. 그림 5는 MODIFY 기능을 통하여 이송장치의 파라미터를 수정하고 있는 화면을 도시하고 있으며, 여기에는 선정된 프레임이 적재된 상태 (프레임 형상, 위치, 페인팅 부위를 포함) 에서의 이송장치

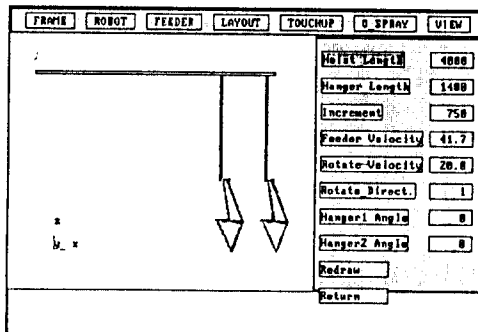


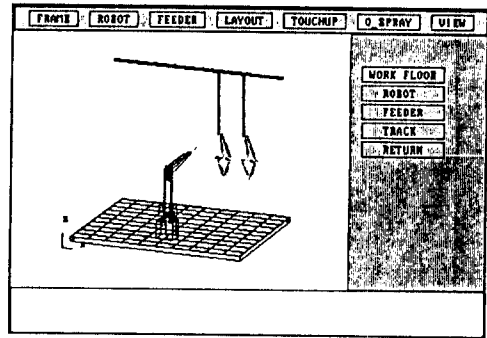
그림 5. 이송장치 파라미터의 입력 및 수정.

를 포괄적으로 도시하여 줌으로써 설계의 가시화를 도모하고 있다.

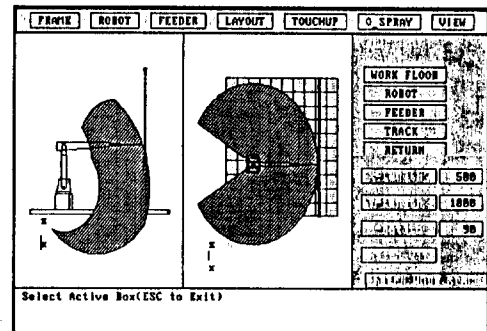
### 2.4 작업장 설계 및 배치 (LAYOUT 모듈)

이상에서 설계된 FRAME, ROBOT, FEEDER 모델의 워크셀 배치는 LAYOUT 모듈을 통해 이루어 진다. 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 작업장크기와, 선정된 frame, robot, feeder의 위치를 초기배치를 제공하고 사용자는 각각의 구성원의 위치 및 자세를 독립적으로 수정하는 형태를 지원한다.

예컨대, 그림 6(a)는 초기배치 및 수정할 구성원을 지정받으며, 작업장 크기, 로봇트의 위치 (그림 6(b)), 트랙의 위치, 이송장치의 위치를 수정할 수 있다. 이들의 위치 파라미터는 워크셀의 좌표계를 기준으로 각 구성원의 object 좌표계를 여러각도의 view 기능과 마우스를 통해 입력받도록 설계되었다. 설정된 배치의 타당성 혹은 효율성은 로봇트 작업블록 분석기능과, 3차원 view 기능을 통해 이루어 진다.



(a) 초기배치



(b) 로봇트의 배치

그림 6. LAYOUT 모듈예.

## 2.5 터치업 작업의 로봇 동작계획 (TOUCHUP 모듈)

터치업작업은 정전도장등에 의해 코팅되지 않은 피도물의 일부를 spot spray를 통해 코팅하는 것으로서, TOUCHUP 모듈은 앞서 설계된 상황에서 터치업작업을위한 로봇의 동작을 계획하고 검증할 수 있는 일체의 기능을 제공한다. 구체적으로, TOUCHUP 모듈은 그림 7(a)의 화면에서: 1) 도장조건을 지정하는 PAINT COND., 2) off-line teaching을 joint 조작에 의해 지정받는 JOINT TEACH, 3) 피도물을 대상으로 분사건의 동작을 지정받는 (cartesian) TEACH, 4) 도장순서를 지정받는 PAINT SEQ., 5) 로봇동작의 다이내믹 시뮬레이션을 제공하는 ANIMATION, 6) 동작 결과를 피막두께의 분포와 사이클타임을 제공하는 ANALYSIS, 7) 기타 화일 입출력을 담당하는 기능을 하위모듈에서 제공한다.

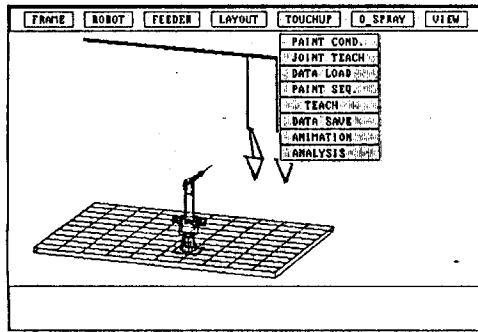


그림 7(a). 터치업 모듈의 선택화면.

PAINT COND. 은 이후의 동작계획 및 분석모듈에서 사용될 도장 조건을: 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 이송효율 (transfer efficiency), 사) 페인트 색깔 등을 입력받는다. JOINT TEACH 는 터치패드턴트를 화면에 구현한 것으로서 (그림 7(b)) 로봇 및 주변장치의 동작을 지정받는 버튼으로 구성된다. 여기에는 가) 프레임의 회전, 나) 트랙상의 로봇베이스 위치 지정, 다) 로봇동작의 지정 및 기억, 라) 화면도시를 위한 viewing direction 지정버튼으로 구성된다. 로봇의 동작은 다시 3개의 모드로 세분시켰기 때문에: 조인트 좌표계 (모드 0), tool 좌표계 (모드 1), 직교좌표계 (모드 2), 사용자는 필요에 따라 선택적으로 사용할 수 있으며 편의성도 도모할 수 있다. 모드 0은 6관절의 각을 독립적으로 지정하고, 모드 1은 분사건을 중심으로 직교좌표계상의 운동으로서 지정하며, 모드 2는 분사건을 작업물의 좌표계와 연관지어 교시하는데 사용된다.

각각의 모드에 따라 화면 우측의 키가 다른 기능을 하도록 설계되었으며, 동작의 교시에 있어서 사용자는 다양한 view 기능을 통하여 확인할 수 있다. MACRO VIEW 기능은 로봇의 동작이 큰 경우에 ZOOM ALL, ZOOM IN, POINT VIEW에 의해 여러곳에서 동작을 관찰할 수 있다. 일단 로봇이 페인팅 부위로 이동하고 나면

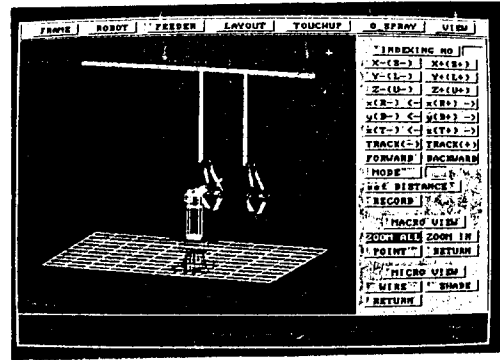


그림 7(b). JOINT TEACH 화면.

MICRO VIEW 기능을 이용하여 네 방향에서 동시에 관찰하며 동작을 계획할 수 있다. Shading 기능은 보다 실제적인 감을 갖기 위해 선택되며, 이에 의해 MACRO VIEW 및 MICRO VIEW를 실행한 예가 그림 7(c)-(d)에 도시된다.

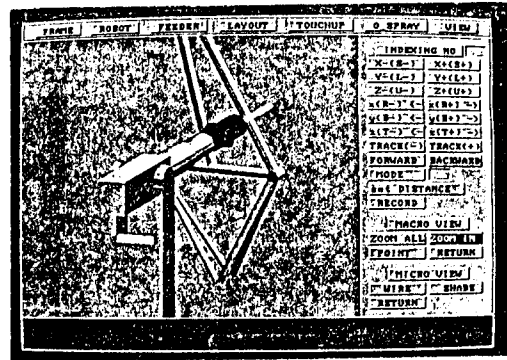


그림 7(c). MACRO VIEW 예.

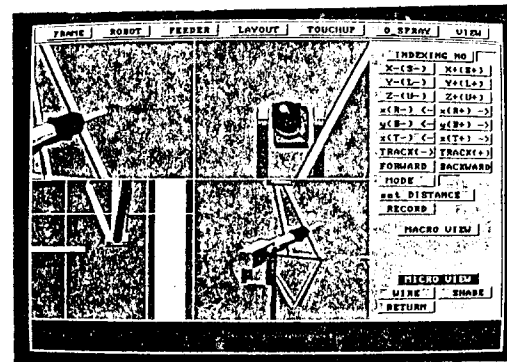


그림 7(d). MICRO VIEW 예.

이상에서 설명한 JOINT TEACH 방식은 일일이 로봇의 자세를 teach pendant로 교시해야 하므로 불편한 경우가 있다. 로봇의 동작을 프레임의 터치업부위를 중심으로 동시에 교시하는 방법으로서 CARTESIAN TEACH 방법을 사용할 수 있다. 그림 7(a)에서 DATA LOAD, PAINT SEQ, TEACH, DATA SAVE 서브모듈이 이를 지원하기 위한 버튼들이다.

DATA LOAD 및 DATA SAVE는 동작데이터의 입력력 지원기능이며, PAINT SEQ는 프레임 상에서 터치업 부위의 순서를 지정한다. 터치업 부위는 프레임의 자세가 전후면에 걸쳐 존재하고, 뒷면은 페인트가 전달되지 않기 때문에 각면을 별도로 지정한다 (그림 7(e)).

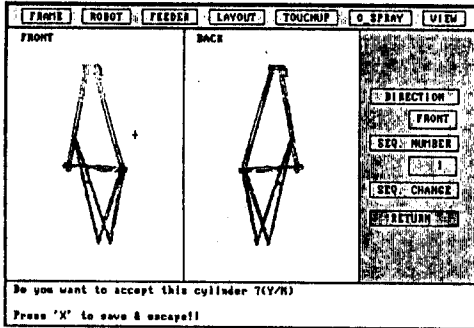


그림 7(e). 도장순서의 지정 (PAINT SEQ).

페인트 순서가 정해지면 (cartesian) TEACH 모듈로 들어간다. 터치업 교시화면은 그림 7(f)와 같으며, 우측의 버튼을 이용하여 분사건의 위치 및 자세를 교시한다. 분사건의 위치 및 자세를 프레임상에 분사지점으로 부터 결정하기 위해서는 분사건의 자세 벡터와 분사거리를 요한다. 본 시스템에서는 분사거리는 PAINT COND. 을 통해 입력된 값을 사용하고, 자세벡터는 분사평면을 지정받는다. 분사평면은 3점에 의해 설정되고 사용자로 하여금 프레임 상의 3점을 지정받는다. 터치업 부위간의 이송동작은 approach/departure로 구성되기 때문에 이를 위한, 축간거리 (분사건의 자세축)와 급승이송속도등을 입력받는다. 터치업을 위한 로봇의 동작은 접근(approach), 터치업분사, 후퇴(departure), 다음점의 접근 (approach) 위치로의 이송동작이 반복적으로 실행된다.

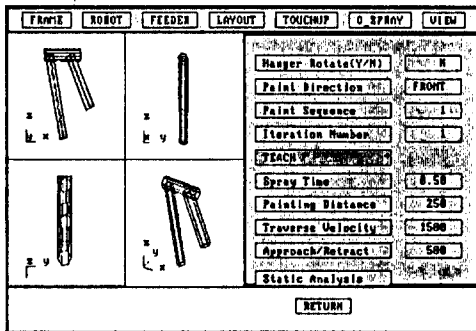


그림 7(f). cartesian TEACH 화면.

교시된 로봇의 동작은 ANIMATION 을 통하여 동작상황을 그래픽으로 확인할 수 있으며, 분사결과는 ANALYSIS 모듈을 통하여 코팅두께의 분포를 나타내는 color map과 사이클타임으로 도시된다. 이는 터치업 부위별로 혹은 전체적으로도 수행시킬 수 있기 때문에 터치업동작을 효율적으로 교시하고 수정할 수 있는 주요 수단이 된다. 그림 7(g)-(h)에서 ANALYSIS 모듈을 국부적/전체적으로 수행한 결과를 도시하고 있다.

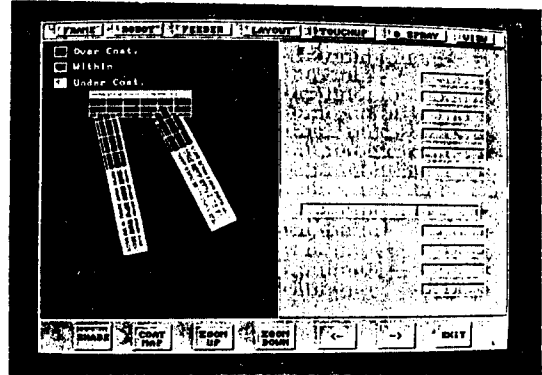


그림 7(g). 국부적 분석화면.

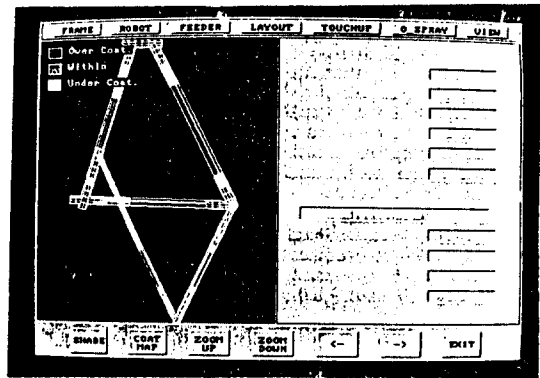


그림 7(h). 전체적 분석화면.

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

로봇트를 이용하여 터치업 작업 뿐만 아니라, 오버스프레이도 가능하다. 오버스프레이는 프레임의 몸통부위를 공기분사식으로 도장하는 작업으로서, 도장 부위만 다를 뿐 다른 조건들을 동일하다. 따라서, O-SPARY 모듈은 TOUCHUP 모듈과 유사하다. 지면관계상 구현결과는 생략한다.

## 3. 적용사례

개발된 시스템을 이용하여 모 자전거회사의 프레임 도장공정의 터치업공정을 로봇되 자동화를 수행하는 기술적 타당성검토를

수행하였다. 현재 이 회사는 200여개의 모델을 생산하고 있으며, 이중 10개의 모델이 80% 이상을 차지하고 있다. 표 1은 이 모델들에 대한 작업공정을 요약한 것이다. 현재 타치업공정은 2인의 작업자가 공기분사방식에 의해 수행하고 있으며, 이를 한대의 로봇으로 대체하는 안을 검토한다. 본절에서는 로봇의 선정, 이송장치의 규격, 작업장배치, 로봇동작계획 등을 조직적으로 분석 검토하는 과정을 약술한다. (주: 본절의 목적은 어디까지나, 개발된 시스템을 사용례를 통하여 설명하는 것이기 때문에, 실제 타당성 검토를 위해서는 여기서의 내용보다 훨씬 복잡한 과정을 거쳐야 함을 주기한다.)

표 1. 타치업공정 작업표

| 공정순서 \ 작업방법                     | A | B | C | D | E | F | 비고 |
|---------------------------------|---|---|---|---|---|---|----|
| 1 하도정전 DISK                     | √ | √ | √ | √ | √ | √ |    |
| 2 하도보정(2명)                      | √ | √ | √ | √ | √ | √ |    |
| 3 건조(100° C 15분)                | √ | √ | √ | √ | √ | √ |    |
| 4 중도정전 DISK                     |   |   |   |   | √ |   |    |
| 5 중도보정(2명)                      |   |   |   |   | √ |   |    |
| 6 건조(120° C 20분)                |   |   |   |   | √ |   |    |
| 7 상도정전 DISK                     | √ | √ | √ | √ | √ | √ |    |
| 8 상도보정(2명)                      | √ | √ | √ | √ | √ | √ |    |
| 9 건조(140° C 20분)                | √ | √ | √ | √ | √ | √ |    |
| 10 투명 CLEAR정전                   |   |   |   |   |   |   |    |
| 11 투명 CLEAR보정(2명)               |   |   |   |   |   |   |    |
| 12 HEAD TWO TONE OVER SPRAY(3명) | √ | √ |   | √ |   |   |    |
| 13 END TWO TONE OVER SPRAY(3명)  |   |   |   | √ |   |   |    |
| 14 투명 CLEAR정전                   |   | √ |   |   |   |   |    |
| 15 투명 CLEAR보정(2명)               |   | √ |   |   |   |   |    |
| 16 건조(140° C)                   | √ | √ |   | √ | √ | √ |    |

검토를 위한 설계대안으로서 로봇모델, 이송장치, 작업장 크기의 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 3.3 m, 행어위치 1.0 m, 이송속도 0.0417 m/s, 프레임 적재간격 0.75 m로 설정하고, 행어의 길이를 1.4 m (1안)와 1.7 m (2안)으로 검토한다. 작업장 크기로는 4.0 m X 2.7 m (1안), 4.0 m X 4.1 m (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, 행어길이를 의미한다.

3.1 작업장 설계

선정된 대안의 조합에 따라 LAYOUT 모듈을 이용해 배치시킨

다. 먼저 이송장치의 호이스트라인은 water screen의 750 mm 전방에 고정시키고, 로봇의 위치는 각 작업장별로 가장좋은 대안을 컴퓨터 상에서 layout and evaluation 방식에 따라 다음의 요령으로 최적배치를 도출하였다. 로봇은 프레임의 정면으로 향하도록하고, 프레임과 로봇의 거리는 프레임의 전 부위를 도출할 수 있도록 로봇의 작업반경이 프레임을 둘러쌀 수 있도록 배치해야 한다. 단, 도장작업시, 분사거리를 250 mm 정도로 유지하기 때문에 약간 작업공간을 벗어나도 가능하나, 프레임이 회전하는 인덱싱 위치에서는 회전여유를 포함해야 한다. 또한, 페인팅 건의 길이는 팁에서 300 mm 로 설정하였고, 인덱싱위치는 적재간격의 중간점으로 하였다. 이러한 조건에서 각안을 배치시킨 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

가) 대안 1 = (W1, R1, E1)의 경우: 로봇의 크기가 작고므로 작업장 폭 2.7m에 배치시킬 수 있었으며, 작업볼륨 분석결과, 프레임이 작업반경에서 벗어나기 때문에 행어의 길이가 1.4 m인 경우에는 접근불능으로 나타났다 (그림 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 1.5 m로서 W1내에 배치시킬경우, 프레임과의 거리가 너무 근접하여 사실상 불가능한 배치로 반영되었다. 따라서, 대안 5 = (W2, R2, E1)처럼 작업장 폭을 1.4 m로 확장해야 하며, 이 때에는 프레임간의 거리, 행어의 길이가 별문제 없이 수용되었다.

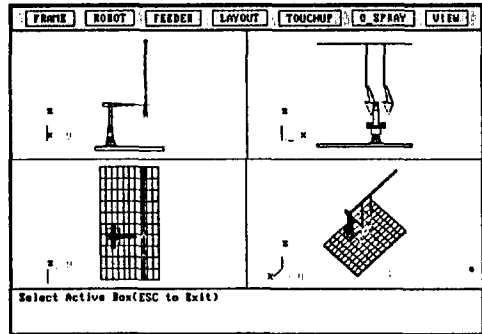
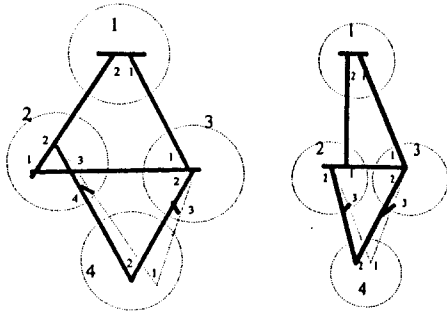


그림 8. 대안 1의 작업장 구성도.

3.2 작업장 운영

가능한 설계안에 작업장 운영안을 추가적으로 검토하여, 구체적으로 동작계획을 실현가능한지의 여부와 만족할 만한 두께 및 사이클타임을 얻을 수 있는지를 결정한다. 대상 프레임으로서 크거나 형태가 서로 이질적인 2가지 프레임을 선정하였으며, 각 프레임의 타치업 부위는 그림 9와 같다. TOUCHUP 모듈을 이용하여 페인팅조건치를 설정하고 동작계획 및 분석을 하는 과정을 반복적으로 수행함으로써, 부위별 타치업시간, 두께분포, 급송이송시간을 얻을 수 있었으며, 전체적으로 페인팅 사이클타임을 얻을 수 있었다. 그림 10-11은 프레임모델 1의 타치업부위 1번과 3번의 부분적 분석결과와 애니메이션 광경을 도시한다. 지면관계로

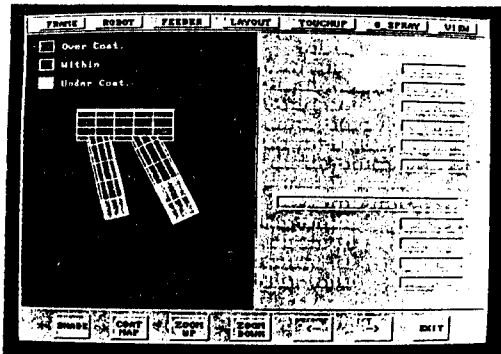
자세한 분석과정은 생략하며, 결론적으로 작업장설계에서 타당한 안별로 로봇의 동작계획 및 분석을 다양한 관점에서 수행할 수 있었다. 동작분석의 결과 작업장 설계에서 타당한 안은 다 수용되었으며 (동작계획상의 문제점은 발견되지 않았으며), 최적안은 생산공정상의 사이클타임의 요구도와 경제성 분석을 통해 결정될 수 있을 것이다.



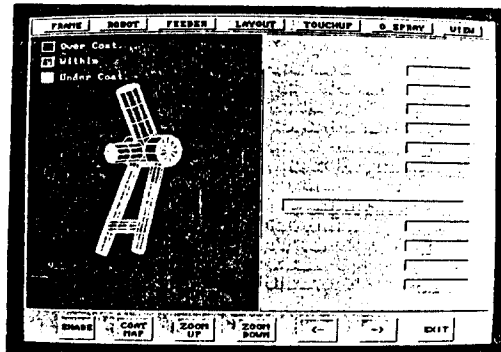
(a) 프레임 1

(b) 프레임 2.

그림 9. 두가지 프레임의 터치업부위.



(a) 터치업부위 1



(b) 터치업부위 2.

그림 10. 프레임 1의 1, 3지역의 국부적 분석결과.

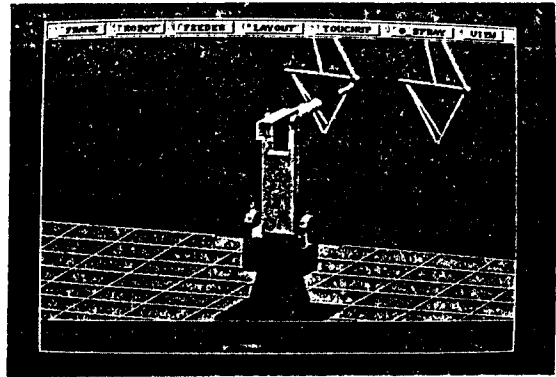


그림 11. 애니메이션 수행과정.

#### 4. 결론

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 로봇 동작계획 모듈을 포함하고 있기 때문에, 본 시스템은 설계지원용으로 뿐만 아니라, 로봇틱 도장시스템의 운용소프트웨어 (오프라인동작계획 프로그램)로도 활용가능하다. 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. Duelen, H. Stahlmann, and X. Liu, "An Off-line Planning and Simulation System for the Programming of Coating Robots," *Annals of 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.