

디지털 제조기술 지원 도어트림 조립시스템 개발

박홍석*, 문시환**, 박상길***, 최홍원****, 신상종*****, 차석근*****

Development of Door Trim Assembly System base on Digital Manufacturing Technology

Hong-Seok Park*, Si-Hwan Mun**, Sang-Kil Park***, Hung-Won Choi****, Sang-Jong Shin***** and Suk-Keun Cha*****

ABSTRACT

Nowadays, manufacturing industry has been making its effort not only for productivity elevation but also for cost reduction in order to survive in the global market which is more and more challenging. In this paper, the method for planning of digital manufacturing system is proposed and door trim assembly system is determined as the subject of our research. First of all, the process sequence is generated based on the product analysis. And, the static and dynamic relationships between system components are represented using IDEF0 and UML model. The working time is estimated through the regression analysis based on MODAPTS method. According to the system configuration strategy, initial concept system layout is implemented 3D virtual environment. The problems caused by bad working motions are detected and modified through the ergonomic analysis using RULA method. According to proposed procedure, digital door trim assembly system is implemented in DLEMIA.

Key words : Digital Modclng, Digital Manufacturing Simulation, MODAPTS method, Regression Analysis

1. 서 론

오늘날 제조업은 점차 심화되는 글로벌 시장 환경에서 생존하기 위해 생산성 향상, 원가절감, 적시 생산 및 품질향상으로 다양한 소비자의 요구에 신속히 대응하기 위해 부단히 노력하고 있다.

이는 점차 제품의 주기가 짧아지면서 새로운 패러다임의 제조시스템이 요구되고 있다. 이런 환경 속에서 대부분의 제조업체들은 제조시스템의 물리적, 논리적 구성요소들의 거동에 관한 신속하고 정확한 분석을 위해 새로운 제조 기술인 디지털 제조기술(Digital Manufacturing Technology)을 이용하고 있다.

즉, 제품의 디자인 단계에서부터 양산 시점까지 다양한 CAx(CAD, CAM, CAE, CAPP) 기술을 사용하고 있다.

특히 디지털 제조기술의 도입으로 실제 제조시스템을 현장에 구현하지 않고 가상의 환경에서 시뮬레이션을 통해 파악하기 힘든 다양한 문제점과 대안들을 찾고 있다. 이것은 기존 제조 시스템뿐만 아니라 새로운 제조 시스템의 문제점 및 대안을 시간과 비용의 낭비 없이 해결할 수 있어 다양한 연구가 진행 중이다.

하지만 디지털 제조기술 도입의 어려웠지만 아니라 제조 시스템의 물리적, 논리적 구성요소들을 합리적으로 적용하지 못한 채 새로운 시스템을 도입함으로써 이를 이용하지 못하고 비용과 시간의 낭비를 낳고 있는 실정이다. 특히 우리나라의 중추산업인 제조업과 같은 노동 집약적인 산업은 합리적인 작업동작과 작업시간의 정의가 필수적으로 선행되어야 한다.

그러나 현재 제조업체들은 작업동작과 작업시간의 중요성을 인식하지 못하고 합리적이지 못한 기존 방식을 고수하고 있어 작업자의 근골격계 질환과 같은 산업재해와 납기일 준수를 위한 전업을 필수불가결한

*중심회원, 울산대학교 기계자동차공학부

**학생회원, 울산대학교 자동차전통기술대학원

***비회원, 울산대학교 자동차전통기술대학원

****비회원, 울산대학교 기계기술연구소

*****비회원, 현대자동차 생산개발총괄본부

*****비회원, (주)에이시에스

- 논문투고일: 2009. 02. 17

- 논문수정일: 2009. 05. 19

- 심사완료일: 2009. 05. 20

사항으로 여기고 있다. 또한 기업에서 작업동작과 작업시간의 중요성을 인지하더라도 이를 해결할 전문가의 부재로 인해 현재의 불합리성을 개선하지 못하는 실정이다.

본 연구에서는 Door Trim 조립 시스템에서 생산성 향상 및 기존 방식의 부작용을 개선하기 위해 합리적인 작업분석 방법으로 현재의 조립시스템을 IDEF0와 UML 시퀀스 다이어그램을 이용하여 객관적으로 분석하였다^{2,3)}. 또한 DM(Digital Manufacturing) 기술 중 DMS(Digital Manufacturing Simulation) 기법을 이용하였다.

즉, 제품(Product), 생산 공정(process), 설비, 주변 환경(Resource)을 종합적으로 분석하여 시스템 검증, 작업 공간 및 안전 확보 등을 종합적으로 검토하여 특히 노동집약적 사업인 제조업에서 합리적인 작업 동작을 정의하였다.

또한 생산성 향상에서 중요한 Factor인 작업 시간에 대해 기존의 작업 시간 설정기법인 MODAPTS기법(Modular Arrangement Of Predetermined Time Standard) 적용 시 발생하는 문제점들을 개선하기 위해 통계적 방법을 이용한 수정 MODAPTS기법을 제안하였다. 이것들을 이용하여 합리적인 Door trim 제조 시스템을 개발하였다.

2. 조립 시스템 설계

2.1 조립 순서 최적화

오늘날의 제조업은 작업의 세분화와 반복성의 증가로 수작업 공정을 CNC 머신 등의 자동화 공정으로 대체되고 있다. 하지만 제품의 기하학적 형태와 조립 방법 등에 의해서 자동화 공정으로 대체되지 못하고 수작업공정으로 수행될 수 밖에 없는 작업이 여전히 존재한다.

도어트림과 같은 자동차 부품 모듈은 대부분 수작업 공정을 기반으로 제품이 생산되고 있는 실정이다. 이에 수작업 공정을 수행하는 작업자의 건강 및 안전이 경영활동에서 중요한 요소가 되고 있다. 그래서 이번 연구에서는 수작업 공정에 초점을 맞추어서 작업자의 부하 및 안전을 고려한 합리적인 조립 시스템을 구현 하기 위해 우선 제품의 기하학적인 형태 분석을 통한 조립 방법 및 조립도구 등을 도출하였다(Fig. 1). 이는 본 연구의 대상인 Door trim 모듈인 Upper subassembly, Garnish, Lower trim 등의 10가지의 부품으로 구성되어 있으며 Base parts가 되는 Lower trim을 기준으로 다양한 조립방향과 조립방법으로

Door trim 모듈이 이루어 짐을 알 수가 있다. 또한 Door trim 모듈은 자동차 내장 모듈로서 미관과 편의성을 위해 주로 플라스틱 소재를 이용한 사출품의 조립으로 이루어진다. 이는 기계 가공품과 같은 정밀한 치수를 가지지 못한다. 그러므로 수동으로 작업자가 작업하기 편리하게 만들어진 전용 조립 팔레트 위에서 각각의 부품들이 조립된다.

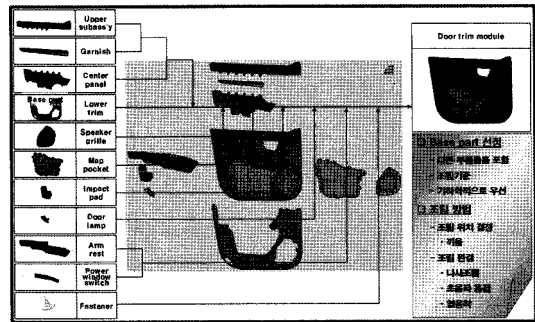


Fig. 1. Generation of the priority order for assembly process.

기존 조립시스템은 Base part에서 제품의 위쪽으로 조립 순서를 정의하여 진행되었다. 하지만 기존 조립 순서는 제품분석을 통하여 확인하여 본 결과 Door trim 모듈의 조립순서로 부적절하였다. 그 이유는 Base part 주위로 억지 끼움 작업이 많이 발생하여 제품의 손상이 우려되며, 작업의 난이도가 올라가고 라인 벨런싱에 위배되는 현상이 발생하기 때문이다.

그러므로 본 연구에서는 샌드위치 조립이 될 수 있도록 기존의 조립방식인 제품의 하부에서부터 상부로 진행되는 방식이 아닌 상부에서부터 하부로 조립이 진행될 수 있도록 조립 순서를 최적화 하였다. 이는 기존의 조립방식인 억지 끼움 방식이 보다 쉽게 이루어 질뿐만 아니라 제품의 손상도 현저히 줄어 드는 것을 볼 수 있었다.

2.2 조립 공정 모델링

Door trim 모듈을 조립을 위한 공정을 설계하기 위해서는 시스템을 구성하고 있는 구성요소의 결정과 이들간의 정보 흐름을 정의하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 우선 프로세스 모델링을 수행하였다. 시스템 모델의 신속한 수정과 재사용성의 용이성을 위하여 객체 지향적인 모델이 사용되었다.

시스템의 정적 기능성을 정의하기 위한 도구로서 IDEF0모델이 이용되었다. IDEF0모델의 최상위층에서는 기존에 수행되었던 시스템 설계 경험을 기반으로

로 시스템이 갖추어야 할 전반적인 사항들이 묘사되어 있다. 그 아래 단계에서는 시스템의 기능성과 시스템 구성의 제약조건 등을 기반으로 각 단위 셀에서 요구되는 기능들을 나타내고 있다. 최하위 단계에서는 실제 조립을 위한 정보들을 기반으로 셀에서 수행되는 공정들이 세부적으로 기술되어있다(Fig. 2)^[4].

각 셀에서 정의되었던 공정들을 수행하는 구성 요소들을 정의하기 위해서 UML의 class diagram이 사용되었다. Fig. 3의 하단부에서 보는 것과 같이, 도어 트림 1-2차 조립 중 Lower trim 안착을 수행하기 위해서는 Lower trim 등의 2가지 부품, 나사조립을 위한 머신과 해머 등과 같은 조립도구와 작업자가 요구되었다. 또한, 작업자가 부품들을 팔레트에 안착시키기 위한 공정이나 나사조립을 위한 공정을 위한 동작 정의를 위해서 동작함수들(Gripping, Moving 등)을 정의하였다. Moving(시작점: 종료점) 함수를 이용함으로써 작업자나 부품의 이동 경로를 정의할 수 있다.

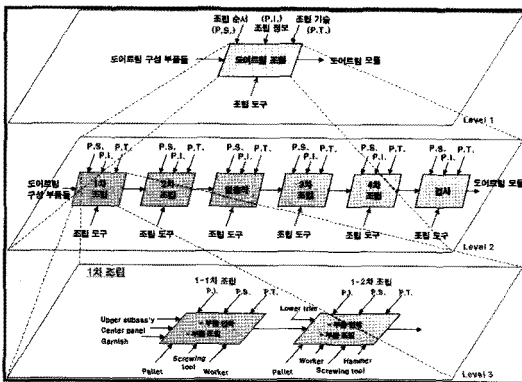


Fig. 2. Functional definition of assembly system using IDEF0 model.

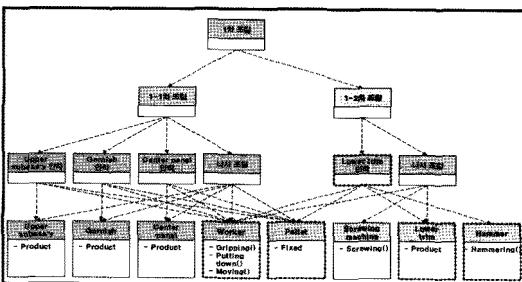


Fig. 3. Static relationship of system components using Class diagram (Case of 1st assembly process).

시스템의 정적 관계를 기반으로 동적 관계를 정의하기 위해 UML의 Sequence diagram을 이용하여 현재 조립 시스템의 흐름을 파악하였다(Fig. 4). Sequence

diagram의 주된 두 가지 역할은 각 구성요소들의 동작을 표현하는 것과 구성요소들간의 정보를 전달하는 것이다. Moving()과 같이 화살표가 자기자신으로 돌아오는 경우는 주어진 작업시간 내에 해당제품을 초기의 위치에서 정의된 지점으로 이동시키라는 것을 의미한다. 반면에 다른 구성요소들간에 연결되어 있는 화살표는 각 구성요소들의 동작순서를 알려주기 위한 메시지 전달을 의미한다. 이러한 sequence diagram을 기반으로 조립시스템의 공정을 시뮬레이션하기 위한 공정순서도를 생성하였다.

이것은 새로운 작업 동작을 설정 시 조립 시스템의 공정 흐름 및 조립의 방법 등의 제약 조건을 확인하고, 현재의 공정의 불합리성을 제거를 위해 수행하였다.

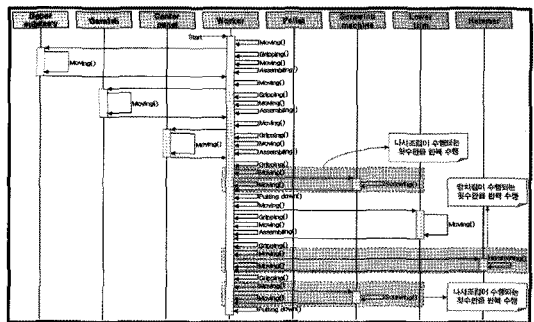
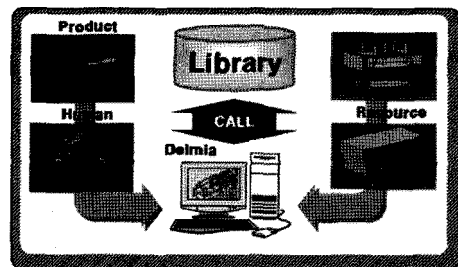


Fig. 4. System flow analysis using sequence diagram (Case of 1st assembly process).

2.3 디지털 조립 시스템 구현

오늘날 산업 현장에서 유연성과 재구현성에 대한 요구가 점차 증대되고 있다. 이런 요구의 대안으로 본 연구에서는 객체지향적 모델의 객체 관점, 동적 관점, 기능적 관점을 이용하여 객체(Object)들을 클래스(Class)화하고 클래스 간의 속성을 정의하였다. 이를 토대로 도면해석 및 각종 설비치수, 형상추정을 통해 3D 모델링을 구현하였다. 이렇게 구현된 3D 모델링을 Library로 정의하였다.



Realization of digital assembly system using object oriented Modeling

그 결과 제조업 환경의 내·외적 변화 즉, 기업 내부의 정책적 변화와 다양한 소비자의 욕구를 만족시키기 위한 외적 변화에 비용과 시간의 절감으로 신속·민첩한 시스템을 구축하였다. 이것은 각각의 제조시스템의 요소들을 클래스로 분류하고 정의함으로써 빠른 시간으로 다양한 조립 시스템을 구축할 수 있었다. 또한 다양한 대체해를 통하여 새로운 조립 시스템을 설계 시 생각하지 못한 문제점들을 사전에 점검하고, 실제 현장에 적용하지 않고 디지털 가상공간에서 대체해들을 구현함으로써 최적의 조립 시스템을 개발하였다.

3. 동작분석 기반 공정개선 및 시간산정

3.1 작업 동작 분석 절차

최근 산업 재해율의 증가와 함께 작업의 세분화, 작업 반복성과 노동 강도의 증가로 작업관련성 근골격계 질환이 급증하고 있는 추세이다. 한국산업안전공단 산업재해 통계분석에 따르면 우리나라 근골격계 질환자의 수가 2002년 1,827에서 2006년 6,233명으로 증가 추세를 보이고는 것을 보면 표준 동작 설정이 중요한 사항임을 알 수 있다¹⁾. 또한 표준 작업 동작은 경영활동의 기초자료가 되는 작업시간 설정의 사전 필수 사항임으로 굳이 현대 제조업의 관심이 되고 있는 근골격계 질환이 아니라도 표준 작업 동작 설정은 매우 중요 사항이다.

그러므로 합리적인 작업 동작을 정의하기 위하여 디지털 제조(DM)기술을 이용한 디지털 시뮬레이션

기술을 이용하여 작업 분석을 실시하고 개선안을 도출 하였으며 표준 작업 동작을 설정하였다.

본 연구에서 작업 동작 설정 순서는 대상공정인 Door Trim Line 공정에서 표준 작업자를 설정하고 작업자의 작업 동작을 비디오 촬영과 현장 확인을 통해 정확한 현장과 작업 동작의 3D 시뮬레이션을 위하여 Product 즉, 생산하고자 하는 물품이나 중간단계의 부품들을 모델링하고 Resource 즉, 설비나 주변 환경 및 작업자를 Modeling하고 Process 즉, Product와 Resource로 이루어진 가상 작업 공정을 Layout 하였다.

시뮬레이션 단계에서 동적인 작업 동작을 하는 작업자의 부하 정도를 색상으로 표시하여 실시간 작업 동작을 변밀히 분석하고 개선되어야 하는 작업 동작을 찾아내고 개선안의 기준을 안전 및 능률과 품질의 측면과 동작 경제성 원칙 등의 측면에서 정의하고 개선안을 도출하였다. 도출된 개선안의 검증은 위하여 개선 동작을 적용하여 가상 작업 공정을 Layout하였다. 모든 표준 작업 동작의 개발도구로는 Dassault Systems의 CATIA V5로 Product와 Resource를 구현하고 DELMIA V5-Human으로 작업자와 Process를 구현하여 시뮬레이션 하였으며 작업 동작 부하측정은 인간공학 분석기법인 RULA를 적용하였다.

3.2 인간공학 해석 기반 조립 공정 개선

최근에 작업자 근골격계 질환과 같은 직업병을 예방하고자 몇몇 기업에서 인간공학 전문가에 의해 작업 동작을 분석 및 평가하여 개선안을 도출되고 있다.

하지만 인간공학 전문가의 분석 시 사용하는 VTR 분석 방법은 유해 요인 동작을 전문가의 주관에 의존할 뿐만 아니라, 전체의 공정을 고려하지 못하고 단편적인 부분만을 개선하여 전체의 공정에 악영향을 줄 수도 있다. 이는 분석 결과의 신뢰성에 문제가 제기되는 물론 전체 시스템에 악영향을 줄 수 있는 큰 문제를 안고 있는 것이다.

본 연구에서 합리적인 작업 동작을 설정하기 위해서는 표준 작업자를 정의 하였다. 표준 작업자를 도어트림 제조업체의 평균 연령인 남자 25세~39세, 여자 25~30세의 나이에 대한 대한민국 국민 평균 신장과 몸무게 등의 신체 사이즈를 산업 자원부 기술 표준원 제5차 한국인 인체치수 조사 사업 보고서를 기준으로 작성 하였다.

또한 각 신체의 관점의 운동 범위를 미국의사협회(A.M.A.: American Medical Association)의 영구적 신체장애 평가지침서를 따라 표준작업자를 모델링 하

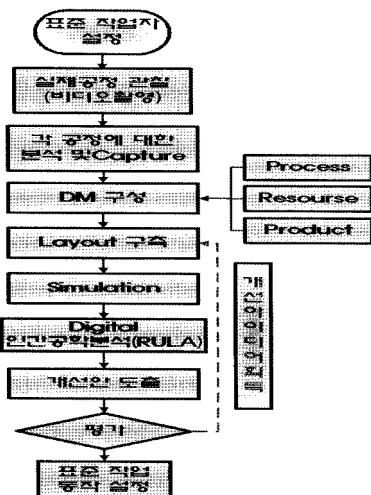


Fig. 5. Establishment flowchart of work motion.

였다. AMA 평가지침서는 우리나라 병원에서 장애인정을 내리는 기준으로 사용하고 있을 정도의 객관성을 확보하고 있는 것으로 판단되어 적용하였다⁶⁾.

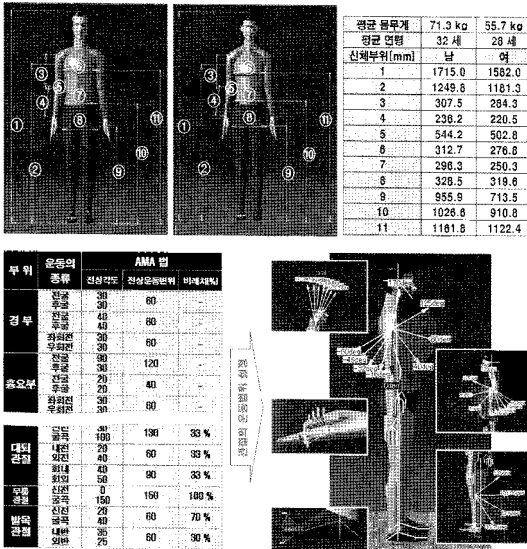


Fig. 6. Justice of standard worker Modeling and joint angle.

현장의 작업 동작을 분석하기 위하여 실제 작업 환경을 조사하고 DM기술을 기반으로 현장과 최대한 유사한 환경을 CATIA V5 3D 모델링 소프트웨어를 이용하여 Resource 및 Product를 모델링하고 DELMIA V5-Human 3D Simulation 소프트웨어의 인터페이스에서 CATIA V5로 모델링 한 파일을 불러와서 제품의 위치와 치구들의 간섭 등을 검토하여 3D 시뮬레이션을 위한 가상 디지털 공정 라인을 구현하였다.

구현된 가상 디지털 공정 라인에 미리 정의한 표준 작업자들을 각 공정에 맞게 배치하였다. 또한 현장 조사와 비디오 분석을 바탕으로 각각의 공장에서 작업자가 수행하는 실제 작업 동작을 3D 시뮬레이션 기법을 이용하여 구현하였다. 이렇게 구현된 디지털 공정 라인을 인간 공학적 분석 방법인 RULA(Rapid Upper Limb Assessment) 분석 기법을 이용하여 시뮬레이션 상에서 각각의 작업 동작을 분석하였다. 이중에 가장 자세 부하가 심한 몇 가지 동작을 선택하여 집중 분석을 함으로써 기존 작업 동작에 위배되지 않고 작업의 효율을 높임과 동시에 작업자의 안전측면을 고려한 합리적인 작업 동작을 정의하였다.

RULA(Rapid Upper Limb Assessment) 분석 기법은 어깨, 팔목, 손목과 목 등의 상지 부위에 초점을 맞추어 작업자세로 인한 작업부하를 빠르게 평가하기 위하여 개발된 기법이다. 이외에도 우리나라에서는

REBA(Rapid Entire Body Assessment), OWAS(Ovako Working Posture System) 등의 다양한 인간 공학적 작업 분석 기법들을 쓰고 있으나 아직까지는 RULA만큼의 신뢰성을 갖는 작업분석 기법을 찾을 수 없다. 그 이유로 미국 내의 인간공학 전문가들의 작업 부하 평가나 재해보상 평가과정에 사용되는 분석 기법을 사용 정도는 RULA 51.6%, OWAS 21.4%, REBA 17.9%로 보고되어 있으며 EU의 VDU 작업장 등의 최소안전 및 건강에 관한 요구 기준과 영국의 직업성 상지질환의 예방지침의 기준을 만족하는 보조 도구 사용되고 있을 정도로 분석 기법이 과학적으로 입증 되어있다⁷⁾. 또한 이번 논문에서는 Door trim 조립 공정에서는 대부분의 작업이 상지 위주의 작업이 주를 이루고 있으므로 RULA를 사용하였다⁸⁾.

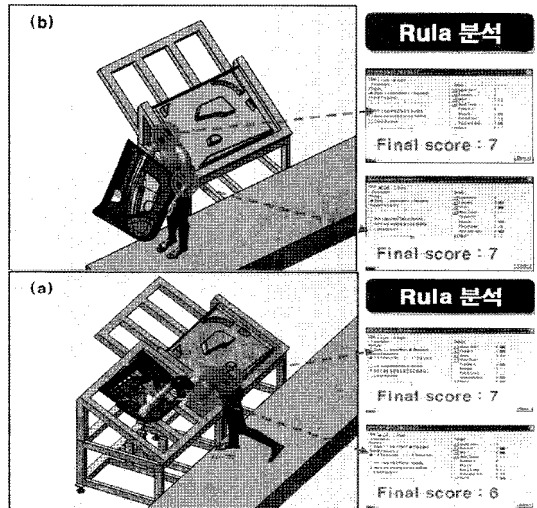


Fig. 7. (a) Transfer motion RULA analysis, (b) Inspection motion RULA analysis.

본 연구의 대상인 Door trim 조립 공정에서의 작업 동작 분석 결과 제1공정과 2공정 사이에서의 수동으로 제품을 이동시키는 동작과 마지막 단계에서의 제품을 검사하는 동작에서 작업자에게 많은 부하가 걸리는 것으로 판명되었다. 즉, 1공정과 2공정 사이에 수동으로 제품을 상하 반전시키면서 이송하는 동작에서 과도한 허리 및 손목 비틀림 동작과 다리 뻗춤 동작에서 위험 요인이 발견되었다. 또한 조립 공정의 마지막 공정인 검사 공정에서 검사 작업을 수행하면서 오랜 시간 제품을 들고 있어 무리한 복의 움직임과 과도한 팔과 허리의 부하로 인해 작업의 효율과 안전에 문제가 발견되었다. 이는 RULA 평가에서 가장 높은 단계인 정밀조사와 즉각적인 개선이 요구되는 동작임

을 확인하였다. 이런 불합리적인 작업 동작을 개선하기 위하여 기존 작업 공정의 인간공학적 분석법인 RULA분석을 통해 문제가 되는 작업 자세를 안전의 측면과 능률의 측면을 고려하여 동작 경제성 원칙을 적용한 작업 개선을 위한 체크리스트를 정의하였다^{9,11)}.

항목	check 내용
배제 (Eliminate)	1. 손을 보유장치(holding device)도 사용하지 않음. 2. 의석하고 비정상적인 자세를 제거하라. 3. 고령된 자세를 유지하기 위해 근력사용을 제거하라. 4. 통찰이론 등을 사용함으로써 근력사용을 제거하라. 5. 위험을 제거하라.
결합 (Combine)	1. 동작이 많거나 반복작이: 같은 목적물로 이루어진 작업을 연속적인 움직임으로 바꾸기 2. 기계의 부가: 고정되어 있으면 그 주기 내에서 작업할 필요성없음 3. 기능할 수 이상의 용량을 하나의 동작으로 통합하라.
재배열 (Rearrange)	1. 모든 작업의 재배열을 검토할 때부터. (동작에 영향을 미치고 최우선적인 움직임의 비효율적이다) 2. 작업 시간이 짧을 때에는 기법과 사내의 작업할 공간에 배분하라.
단순화 (Simplify)	1. 작업수행에 필요한 최소한의 근력만 사용하라. 2. 모든 움직임이 주시 중심을 돌려라. 3. 고정 작업의 인체에서 작업하라. 4. 조립을 쉽게 하라. 5. 조립, 정비, 품질 검사와 조립후 검사 근력모작에 쉽게 전환하라. 6. 작업물 한-정점(인체) 동작(손)180도(3)를 돌려라.

Fig. 8. Check list for work motion improvement.

정의된 작업 개선 체크리스트를 토대로 현재의 Door trim 조립 공정에서 문제가 되는 이동동작의 과도한 허리 비틀림과 검사동작의 손목 비틀림 같은 동작과 검사동작의 과도한 손의 부하와 목 비틀림 동작을 경제성을 고려한 합리적인 작업 동작을 정의하였다.

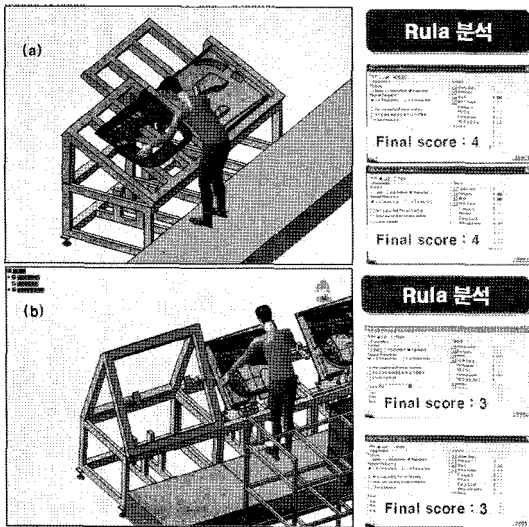


Fig. 9. (a) Improvement Transfer motion by RUAL method, (b) Improvement inspection motion by RULA method.

3.3 공정 수행시간 산정

우리나라의 대부분의 경영자들은 작업표준시간 계측의 효과가 노동자들의 심리적 거부비용보다 크지 않다고 보고 작업 측정중 중요시 여기지 않았다. 그러

나 최근 도요타와 GM의 합작기업인 NUMMI 공장의 사례연구와 국내 중소기업을 대상으로 한 실증연구는 작업 시간 측정이 시설 투자 없이도 작업측정을 통하여 손쉽게 기업의 경쟁력이 증진될 수 있음을 보여주고 있다¹²⁾. 국내 제조기업, 특히 생산성이 낮고 주먹구구식 경영시스템이 적용되다시피 하고 있는 많은 국내 중소기업이나 대기업들에게도 기업 경쟁력과 직결될 수 있는 과학적인 작업측정이 요청되고 있다.

이러한 맥락에서 이런 문제점을 해결할 수 있는 작업 측정 방법론을 제시하기 위하여 산업공학의 하나인 MODAPTS기법을 이용하였다. MODAPTS기법은 기존시간 자료법의 가장 발전된 형태의 기법이라 해서, 제4세대라고도 한다. 이 기법은 신체 각 부위의 움직임은 각기 동작시간에 차이가 있다는 점에 착안, 모든 근무자의 동작을 21가지 유형으로 분류하고, 그에 따른 시간치를 부여하여 작업시간을 산출해내는 것이다. 이 기법에서는 동작분석의 최소시간단위를 0.129초로 하고, 이를 1MOD(Modular의 약칭)로 표시한다. 즉 작업자의 모든 동작이 MOD의 정수 배로 환산되고, 그에 따라 작업 표준 시간이 계산된다. 그리고 여기에서 적용되는 작업자의 작업동작은 21가지로 세분된다. MODAPTS는 미국·일본을 비롯한 선진국뿐만 아니라 아시아·아프리카 등 중진국·후진국에서도 활용하고 있는 것으로 알려졌으며, 이 기법의 도입을 통하여 노동생산성 향상, 작업 Layout 개선, 부가가치 생산성 향상 등 획기적인 성과를 거두고 있다¹³⁾. 이에 이번 연구에서는 MODAPTS기법을 적용하여 Door Trim 제조회사의 표준 작업 시간을 정의하였다.

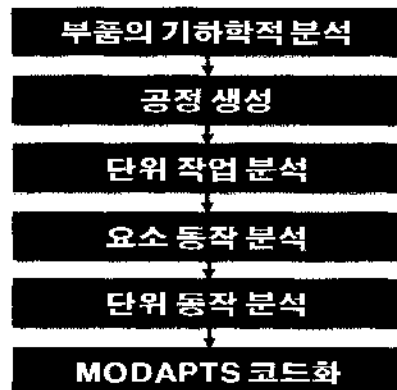


Fig. 10. Analysis sequence by work measurement method.

즉, Door Trim 조립 공정의 대상물을 확인하고 현물견본, 설계도, 부품도, 취급설명서, 순서도 등의 대

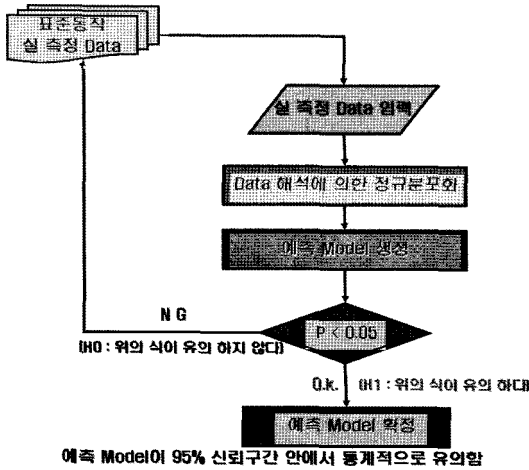


Fig. 14. Flowchart of estimate model.

수정 MODAPTS기법의 개발 순서는 작업 동작을 정의하고 작업 동작에 따라 작업을 실시한 실 공정 측정 Data를 작업 공정도를 따라 단위 작업 별로 구분하고, 요소동작으로 분류하여 각각에 대한 측정 Data를 수집하고 이를 DB화하여 위에서 설정한 회귀 분석 모형에 입력한다. 이후 입력된 Data를 통계적 해석에 의한 정규 분포화하여 예측 Model을 생성한다. 이렇게 생성한 예측모델의 정확성 및 객관성을 검증하기 위하여 정규 분포에 검정 역(H0: 예측 Model이 유의하지 않다. H1: 예측 Model이 유의하다)을 설정하여 검증을 하고 예측 Model이 유의하면 예측모델을 확정하고, 그렇지 못하면 실 측정 Data를 다시 수집하여 똑같은 방식의 작업을 수행하였다.

본 연구의 실험 대상인 Door trim 조립공정은 대부분의 MODAPTS 기법의 코드와 실제 작업 시간과의 차이를 보이지 않았다. 하지만 1차 가조립 공정과 2차 가조립 공정에서 발생하는 사출품의 끼움 동작에서 실제 시간과 MODAPTS 코드와의 시간 차이가 발생함을 알 수 있었다. 그러므로 Door trim 조립공정의 라인 밸런스에 문제가 발생하고 작업자의 부하가 균등하게 나누어 지지 않아 라인 가동성에 문제가 발생함을 알 수 있었다.

본 논문은 끼움 동작에 대한 합리적인 작업 시간을 산출하기 위하여 작업자가 끼움 동작을 실행하는데 힘과 시간과의 관계에 대한 예측 모형을 도출하기 위해 Fig. 12와 같은 실험을 통해 데이터를 수집하였다.

힘과 시간과의 관계를 알기 위한 이번 실험에서 표준 작업자가 1차와 2차 가조립 공정에서 수행하는 작업 시간을 작업자가 의식하지 못하는 곳에서 비디오 분석을 통하여 실시 하였다. 또한 작업을 수행하는데

필요한 힘을 측정하기 위하여 로드 셀을 이용하였다. 실험에 사용된 로드 셀은 1~100 kg까지 측정되는 소형 로드 셀을 사용하여 1차와 2차 가조립 공정을 수행하는 팔레트 위에 부착하여 끼움 동작을 위해 부여하는 힘을 측정하였다¹⁵⁾.



Fig. 15. Experiment for force measurement.

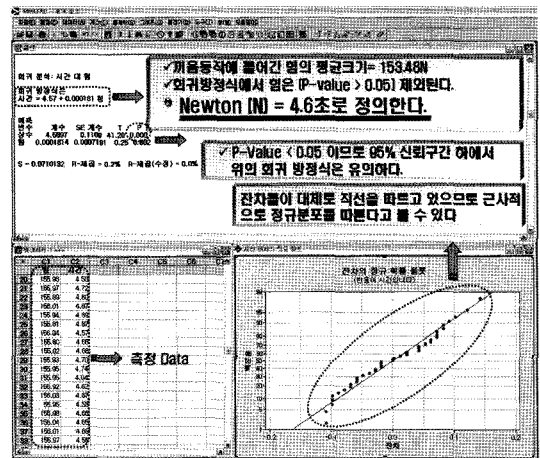


Fig. 16. Estimate model creation system using statistics software (Minitab).

힘과 시간의 관계를 함수 식의 모형으로 설명하기 위하여 통계 상용 툴인 Minitab을 이용하여 실험을 통해 획득한 데이터로부터 예측 모델을 도출하였다.

즉, 최소 제곱 합에 의해 얻어진 예측 모델을 생성하고 예측 Model의 각각의 요소 동작의 추정치들이 예측 Model에 적합한지를 검증한 결과 상수에서만 (P-Value<0.05) 95% 신뢰구간 하에서 예측 Model을 설명한다. 그러므로 예측 모델에서 끼움 동작을 수행하는 공정은 4.6초의 시간을 보정해 주어야 한다. 또한 모델의 각각의 요소들의 검증 후 검증된 요소들의 집합으로 표현된 예측 Model의 검증을 실시한다. 그

결과 예측 Model이 (P-Value=0.000) 95% 신뢰구간 하에서 통계적으로 유의함을 알 수가 있다. 이로써 최소 제곱 합에 의해 생성된 예측 Model의 검증이 완료된다. 이렇게 생성된 예측 Model은 Raw Data에 따라 전혀 다른 값이 나올 수 있기 때문에 Raw Data의 검증은 필수적이다. 따라서 Raw Data의 검증 방법으로 Raw Data의 잔차들의 불편성, 등분산성을 검증하는 분포도와 정규성을 검증하는 분포도 통하여 예측 모델의 신뢰도를 확보하였다. 이로써 예측 Model의 Raw Data들의 검증을 통하여 예측 Model의 신뢰성을 확보하였다^[16].

회귀 분석으로 힘과 시간과의 관계분석을 통해 획득한 결과를 MODAPTS 코드로 하였다. 본 논문에서는 기존 MODAPTS 코드에는 없는 힘에 대한 코드를 Newton[N]이라고 하고 시간을 4.6초로 정의하였다. 이는 기존 MODAPTS 코드에 본 논문에서 정의한 코드를 적용하여 수정된 MODAPTS 코드를 생성하였다.

또한 기존 MODAPTS 코드로 표현된 작업 시간을 수정 MODAPTS 코드로 수정하였다.

작업구분	작업내용	기존 MODAPTS			수정된 MODAPTS		
		작업시간	힘	에너지	작업시간	힘	에너지
Upper subassembly 인착	Upper subassembly 최종 플랫폼에 이동한다.	W3W3	0.77	0.81			
	Upper subassembly를 잡는다.	E2M5G2	1.16	0.53			
	Upper subassembly를 휘둘러본다.	W3M5L1	1.16	4.89	0.52	3.76	
	조립 작업대로 Upper subassembly를 이동한다.	W3W3	0.77	0.81			
	Upper subassembly를 최종 플랫폼에 안착시킨다.	E2M4P2	1.03	1.08			
	Garish를 잡는다.	E2M7G2	1.42	1.49			
Garish 인착	Garish를 휘둘러본다.	M7	0.90	0.94	5.10	14.28	
	조립 작업대로 Garish를 이동한다.	E2M4P2	1.03	1.08			
	Garish를 Upper subassembly에 끼운다.	E2M4P2D3R2(N-2)	10.88	√10.76			
Upper subassembly 인착	Center panel 최종 플랫폼에 이동한다.	W3W3	0.77	0.81			
	Center panel을 잡는다.	E2M5G2	1.16	1.22			
	Center panel를 휘둘러본다.	M5	0.65	1.68	6.06	15.63	
	조립 작업대로 Center panel을 이동한다.	W3W3	0.77	0.81			
	Center panel를 최종 플랫폼에 안착시킨다.	E2M4P2	1.03	1.08			
	Center panel를 Garish와 Upper subassembly에 끼운다.	E2M4P2D3R2(N-2)	10.88	√11.02			

Fig. 17. Modified MODAPTS code for door trim assembly time (Case of 1st assembly process).

공정	기존 MODAPTS 산정값	수정된 MODAPTS 산정값	비율 (%)
1공정	121.991	81.113	66.55
2공정	481.54	30.412	6.32
3공정	기계 작업		
4공정	121.991	84.51	69.35
5공정	31.710	50.190	158.28
6공정	121.74	84.71	69.66
합계	417.976	231.946	55.50

Fig. 18. Results of different measurement method.

수정된 MODAPTS 기법과 실 공정 측정 시간 값을 비교한 결과 오차가 미미한 수준임을 알 수 있다. 즉, 예측 Model에 의하여 수정 MODAPTS 기법이 실 공정 측정 시간에 대한 가장 정확한 Time Parameter를 가짐을 알 수 있다.

수정된 MODAPTS 기법을 이용하여 합리적인 작업 시간을 도출하였다. 이를 이용하여 기존 공정의 불합리성을 제거하고 작업 효율 및 작업자의 부하 평준화를 높일 수 있는 Door trim 표준 작업 시간 시트를 작성하였다. 즉, 총 조립시간 443.91초로 기존 공간 및 시간 제약조건을 고려하여 기존의 작업 셀인 6개의 작업 셀로 구성하였다.

또한 조립시스템의 최적의 레이아웃을 정의하기 위하여 레이아웃의 결정에서 중요한 영향 인자들을 결정하였다. 이것은 제품측면, 생산계획측면, 기술측면, 레이아웃측면, 조적측면의 5가지로 대분류를 하고 각각의 측면으로 세부 영향인자를 정의하고 가중치를 두었다. 특히 시간적·공간적 제약조건 하에서 작업자의 피로 경감과 안정성을 고려한 최적의 조립 시스템을 구현하였다.

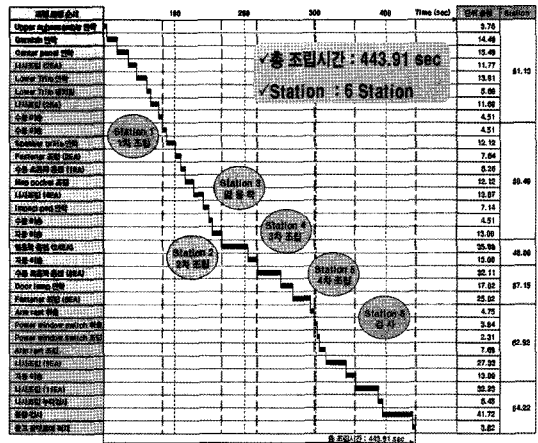


Fig. 19. Time table for door trim assembly.

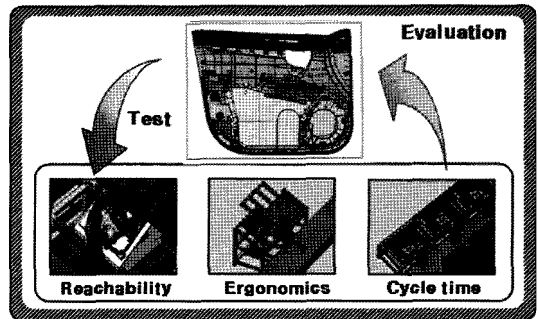


Fig. 20. Estimation of assembly system.

제안된 조립 시스템을 평가하기 위한 평가기준으로 는 작업성, 인간공학적 평가, 제약조건 만족도에 초점을 맞추었다.

본 연구에서 제안된 작업 동작 및 작업 시간을 현장에 적용하기 위하여 기존 작업들의 간섭, 공간 확보, 자재배치 등의 공정의 흐름에 영향을 줄 수 있는 불합리성 제거 및 현장 사항을 고려한 최적의 해를 3D 시뮬레이션 기법을 이용하여 검증을 실시하였다^{17,24}.

그 결과 각각의 셀은 개선된 MODAPTS 기법에 의하여 주어진 사이클 타임을 충족하였고, 인간공학 분석을 통하여 불합리한 작업동작이 모두 배제되었음을 확인하였다.

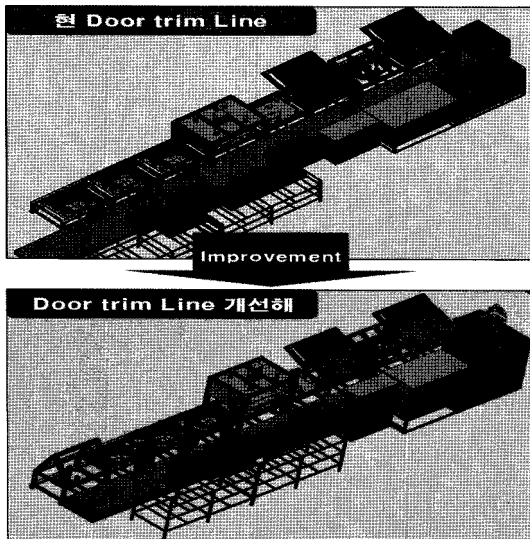


Fig. 21. Improvement of current assembly lines using digital manufacturing method.

4. 결 론

본 연구에서는 자동차 내장제인 Door trim 조립시스템을 대상으로 최적의 조립시스템을 개발하기 위해 디지털 제조 기술을 적용하였다. 또한 효과적인 디지털 제조 기술을 도입하기 위해 제품분석과 객체지향 모델을 이용하여 각각의 객체를 Data Base화 함으로써 신속하고 민첩한 조립 시스템을 개발할 수 있었다. 이는 기업의 내·외적 변화에 강건한 최적의 조립시스템 개발에 기여하였다.

또한 기업의 경영활동에 필수요소인 작업 동작과 작업 시간을 합리적으로 정의하여 신뢰성 있는 경영자료 도출에 기여하였다. 즉, 요즘 이슈가 되고 있는 근골격계질환과 같은 직업병에 대한 인간공학적 해석

과 디지털 시뮬레이션 기법의 집목으로 가상의 공간에서 합리적인 작업 동작을 정의 하였으며, 기존의 작업시간 산정 방법의 문제점으로 작업시간에 대한 정확성과 객관성 결여에 대한 개선하기 위해 통계적 분석 방법을 도입하여 합리적인 작업시간을 정의하였다.

이에 따라 작업 동작 및 작업 시간의 정의에 따른 객관성이 향상되었으며, 작업 동작과 작업 시간의 DB화로 새로운 공정 산출기간을 단축시키고 범용성을 향상시켰다. 또한 수정 MODAPTS 기법의 개발로 인해 Time Parameter의 정확도를 향상시켰으며 기업 경영 자료로 명확한 작업 시간을 활용할 수 있게 되었다. 또한 DM기술을 도입함으로써 최적의 시스템을 구축하는데 필요한 시간과 비용을 줄였으며, Digital Simulation 구현으로 업무지침 등의 교육 자료로 활용 및 근골격계질환 등의 예측 및 예방이 가능해 졌다.

향후에는 작업시간 중 정미 시간에 대한 연구는 활발히 진행되고 있으나 작업시간의 중요한 부분인 여유 시간에 대해서는 아직까지 진행이 미미한 실정이다. 기업에서도 여유 시간은 협상의 대상으로 파악하고 있으며, 이로 인한 노사 간의 분쟁도 심심치 않게 발생하고 있다. 이에 과학적 근거가 있는 여유 시간 산정 방법을 연구하고, 이미 정의된 작업 동작과 작업 시간은 Door Trim 제조 공정에 국한되어 있어 활용성이 떨어진다고 할 수 있다. 이에 보다 광범위한 시스템으로의 확장을 도모하고 있다.

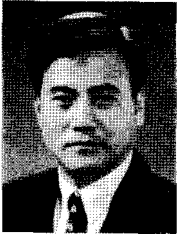
감사의 글

본 연구는 지식경제부 유레카 나자간국제공동기술 개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Sen, P. and Yang, J. B., "Multiple Criteria Decision Support in Engineering Design", Springer-Verlag, London, 1998.
2. Booch, G., Rumbaugh, J. and Jacobson, I., "The Unified Modeling Language User Guide", Wesley Longman, Inc., 1999.
3. 박홍석, 최홍원, "디지털 제조기술 기반의 차체 사이드 패널 조립시스템 구현", 한국정밀공학회지, 제 23권, 제 11호, 2006.
4. Mayer, R. J., "IDEF_x Data Modeling", Texas Knowledge Based System, Inc., 1994.
5. 한국산업안전공단 보건국 "<http://www.kosha.or.kr/>"
6. 미국의사협회(A.M.A.) "연구적 신체장해 평가지침"의 정상각도 및 측정방법.

7. 박재희, 광원택, “근골격계 부담작업 평가에서 개별 장면의 대표값들과 전문가 판정 결과 간의 비교”, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol. 25, No. 2, pp. 205-210, May 2006.
8. Lueder, R., “A Proposed RULA for Computer Users”, *Proceedings of the Ergonomics Summer Workshop*, 1996.
9. Martin, H., “A Guide to Human Factors and Ergonomics”, CRC press, 2006.
10. Peters, G. A. and Peters, B. J., “Human Error”, CRC press, 2006.
11. 황학, 작업관리론, 영지문화사, pp. 120-400, 1996.
12. 전영수, 김지대, “MOST 작업표준시간 측정 방법의 유용성에 관한 연구”, *한국생산관리학회*, 제10권, 제3호, 2000.
13. 양누진, “MODAPTS 분석을 통한 작업 및 설비 개선에 관한 연구”, 인하대학교 산업공학과 석사학위논문, 2002.
14. Paul, C., Judith, F., Michael, C. H. and Brian, S., “Hetde’s MODAPTS”, Heyde Dynamics Pty. Ltd., 2001.
15. Ralph, M. B., “Motion and Time Study Design and Measurement of Work”, John Wiley & Sons., 1980.
16. 이승훈, (Minitab을 이용한) 공학통계 자료분석, 이레테크, pp. 163-227, 2006.
17. Park, H. S. and Lee, K. B., “Development of Digital Laser Welding System for Automobile Side Panels”, *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 8, No. 1, pp. 83-91, 2007.
18. 우중훈, 오대균, 이춘재, 최양렬, 신종계, “선박 건조 공정 시뮬레이션을 위한 모델링 방법론 및 시스템 아키텍처”, *한국 CAD/CAM 학회 논문집*, 제11권, 제1호, pp. 11-19, 2006.
19. 한상동, 신종계, 김유석, 윤태혁, 김건연, 노상도, “조선 형강 디지털 가상공장 구축 및 활용”, *한국 CAD/CAM 학회 논문집*, 제13권, 제1호, pp. 27-35, 2008.
20. 김좌년, 정성환, 자해성, “조립작업자의 동작과 자세를 고려한 조립순서결정”, *한국 CAD/CAM 학회 논문집*, 제13권, 제5호, pp. 391-402, 2008.
21. Anelle, J., “Virtual Manufacturing for Design and Production”, *Proceeding of 1998 Deneb User Group*, Vol. 1 No. 1, pp. 1-4, 1998.
22. Kim, S. C. and Choi, K. H., “Development of Flexible Manufacturing System Using Virtual Manufacturing Paradigm”, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 1, No. 1, pp. 84-90, 2000.
23. Yasuhisa, O., Kentaro, H. and Noritaka, U., “Simulation Based Production Using 3-D CAD in Shipbuilding”, *International Journal of CAD/CAM*, Vol. 6, No. 1, pp. 3-8, 2006.
24. 최무용, 한승택, “자동차 조립 라인의 디지털 생산 구축 사례연구”, *한국 CAD/CAM 학회 논문집*, 제10권, 제3호, pp. 199-209, 2005.



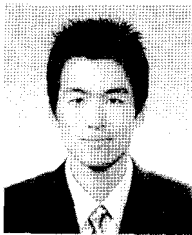
박 흥 석

1979년 한양대학교 기계공학과 학사
 1987년 RWTH Aachen 생산공학 석사
 1992년 Univ. of Hannover 생산공학 박사
 1999년 Univ. of Hannover 공동 연구 책임자
 2001년~2002년 Univ. of Michigan, Ann Arbor 방문교수
 1993년~현재 울산대학교 기계자동차 공학부 교수
 관심분야: Intelligent Manufacturing system, Digital Manufacturing Techniques, CAD/CAM/CAE



문 시 환

2006년 고려대학교 정보통계학과 학사
 2009년 울산대학교 자선대학원 생산 기술진흥 석사
 관심분야: Digital Manufacturing, 제품 및 공정설계, 자동차생산시스템



박 상 길

2007년 울산대학교 기계자동차 학사
 2009년 울산대학교 자선대학원 생산기술진흥 석사
 관심분야: Digital Manufacturing, 시뮬레이션, 제품 및 공정 설계



최 훈 원

2001년 울산대학교 기계공학과 학사
 2003년 울산대학교 기계자동차공학과 석사
 2009년 울산대학교 기계자동차공학과 박사
 2009년~현재 울산대학교 기계기술연구소 연구원
 관심분야: Digital Manufacturing, 증강 현실, 제품 및 공정설계, CAPP, Remanufacturing/Recycling



신 상 종

1985년 영남대학교 기계설계학과 학사
 2004년 울산대학교 자선대학원 생산기술진흥 석사
 1992년~현재 현대자동차 생산개발총괄본부 파워트레인생기센터 변속기 생기팀 과장
 관심분야: 자동차생산시스템, 시뮬레이션, 공정설계, 공작기계기술(트렌드, 산기술), 융합/복합가공기술



차 석 근

1982년 메릴랜드 대학교에서 전기공학 전공, 제어계측 석사
 1985년 Sigma Central Lab
 1988년 (주)어플라이드 엔지니어링
 1988년~현재 (주)에이시에스 설립 전무 이사 재직 중
 관심분야: Real time Multi-sensors Data Fusion, M2M, u-Manufacturing, MES