

디지털 제조기술 기반의 차체 사이드패널 조립시스템 구현

박홍석[#], 최흥원^{*}

Implementation of an Assembly System for Automobile Side Panel Based on Digital Manufacturing Technologies

Hong Seok Park[#] and Hung Won Choi^{*}

ABSTRACT

Nowadays, the increasing global competition forces automobile manufacturer to increase quality and to reduce the cost and time for manufacturing planning. To solve these problems, automobile manufacturers try to apply digital manufacturing technologies. In this paper, a concept of method for planning the digital assembly system is proposed. Based on the requirements of assembly tasks obtained through product analysis, the function and sequence modeling for assembly process is executed using the IDEF0 and UML model. For implementation of digital assembly system, the selected components are modeled by using 3D CAD tools. According to the system configuration strategy, lots of the alternative solutions for the assembly system are generated. Finally, the optimal assembly system is chosen by the evaluation of the alternative solutions with TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) method. According to proposed procedure, digital laser welding system is implemented in DELMIA.

Key Words : Digital Manufacturing(디지털제조), Laser Welding System(레이저용접시스템), Structure Planning(시스템 구현계획), TOPSIS method(TOPSIS 방법론)

1. 서론

오늘날과 같은 극심한 변화를 가지는 시장조건에 따라서 제품의 다양성 및 고품질에 대한 소비자의 욕구 증가는 제조업체들로 하여금 제품의 개발기간 단축과 제조비용 절감을 위해서 노력할 것을 강요하고 있다. 이러한 이유로 대부분의 제조업체들은 제품 또는 생산시스템의 정적 및 동적 거동에 관련한 신속하고 정확한 모델링과 분석을 위해서 제품 개발의 디자인단계에서부터 다양한

CAx(CAD, CAM, CAE 등)기술들을 도입하여 사용하고 있다.^{1,2} 이와 동시에 MES(Manufacturing Execution System)을 이용하여 실시간으로 현장의 정보를 수집함으로써 생산부하와 생산시스템의 기능불량에 기인하여 발생하는 문제들에 대하여 즉각적으로 대처하고 있다. 또한 CAPE(Computer Aided Production Engineering)기술의 발전으로 생산시스템을 현장에서 실제로 구현하기 이전에 가상의 환경에서 구현되는 것을 가능하게 되었다. 가상의 환경에서 시뮬레이션을 통하여 획득되어진

^{1,2} 접수일: 2006년 2월 22일; 게재승인일: 2006년 9월 25일

[#] 교신저자: 울산대학교 기계자동차공학부

E-mail : phosk@ulsan.ac.kr Tel. (052) 259-2294

^{*} 울산대학교 기계자동차공학부

정보를 이용함으로써 제조업체들은 보다 적은 비용과 시간을 투입하여 효과적인 생산시스템을 구현하는 것이 가능하게 되었다. 더 나아가 오늘날의 디지털제조기술은 제품, 제조환경, 제조방법에 걸친 실제 제조시스템의 전반적인 거동과 이들의 물리적이고 논리적인 스키마를 표현하는 모델을 이용함으로써 생산시스템의 전반적인 과정에 걸쳐 에러를 체크하고 최적의 의사결정을 지원한다. 이는 궁극적으로 민첩한 생산을 촉진하는 기반이 된다.

일반적으로 생산시스템의 구현은 Planning, Process 와 Operation 의 3 단계를 거쳐서 수행되어진다. 시스템의 작동을 위한 제품, 공정, 운영적인 측면에서 요구되는 기능적인 요구사항들이 Planning level 단계에서 조사되어진다. Process level 에서는 IDEF0 모델과 UML 모델을 이용하여 Planning level 단계에서 조사되어진 요구사항으로부터 시스템의 기능과 요구되는 구성요소들 사이의 관계를 정의하였다.³ 이 결과를 이용하여 Operation level 에서는 적절한 시스템의 구성요소들을 결정하고 선택되어진 구성요소들은 3D CAD tool 을 이용하여 모델링을 수행하였다. 시스템이 올바른 기능을 수행하기 위해서는 선택되어진 구성요소들의 최적 배치계획

이 수행되어야 하며 이러한 과정을 수행하는 동안 다양한 대체 시스템의 해가 제안되어졌다. 대체시스템의 기능들은 DELMIA 를 이용한 디지털 제조환경에서 OLP(Off-line programming)를 기반으로 검증되어졌다. 시뮬레이션을 통해 검증되어진 다양한 대체해들은 TOPSIS⁴ 을 이용하여 최적의 해를 결정하게 된다. Fig.1 은 디지털 제조시스템 구현을 위한 계획절차를 나타낸 것이다.

본 논문에서는 기존의 스폿용접으로 수행되고 있는 차체 사이드 패널 조립시스템을 레이저용접으로 대체하는 과정을 대상으로 디지털 제조기술을 적용하고자 하였다.

2. 제품분석을 통한 프로세서 파라미터 결정

제조업체에서 생산되는 제품이 기능적인 측면에서 소비자의 욕구를 충족시키고 동시에 가격 경쟁력을 확보하기 위해서 새로운 기술의 도입은 비중이 큰 문제로 다루어진다. 차체조립업체들은 차체 경량화를 목적으로 알루미늄이나 마그네슘과 같은 새로운 소재의 패널을 사용하거나 하이드로포밍과 같은 새로운 기술을 이용하는 차체를 생산하려고 노력하고 있다.⁵ 하지만 기존의 스폿용접은 전기전도도가 높은 알루미늄이나 마그네슘과 같은 새로운 소재의 패널을 대상으로 용접의 신뢰성을 확보하는 것이 어려울 뿐만 아니라 하이드로포밍으로 제작되어진 파이프 형상의 부품들에 대해서는 용접 자체를 수행하는 것이 불가능하다. 이러한 문제를 극복하기 위해서 기존의 스폿용접을 대신하여 레이저용접을 이용한 차체 조립을 수행하고자 다양한 연구를 진행하고 있다. 레이저용접은 양호한 접근성 뿐만 아니라 신속한 용접속도, 양호한 용접 품질을 제공하는 등 많은 장점을 가지고 있으므로 차체조립업체에서는 레이저용접 기술을 현장에 적용하기 위해서 많은 노력을 하고 있다.

연구의 대상으로 선정된 차체 사이드 패널조립공정은 233 개의 스폿용접을 통하여 수행되어졌다. BOM, 공정순서도 등의 분석과 실차를 이용한 실험을 바탕으로 하여 레이저용접을 적용하기 위한 용접부분의 조건들을 정확하게 파악하였다. 차체 부품의 설계는 스폿용접 적용을 기반으로 수행되어졌기 때문에 사이드 패널의 일부분에 대해서는 레이저용접을 적용하는 것이 용이하지 못하였다.

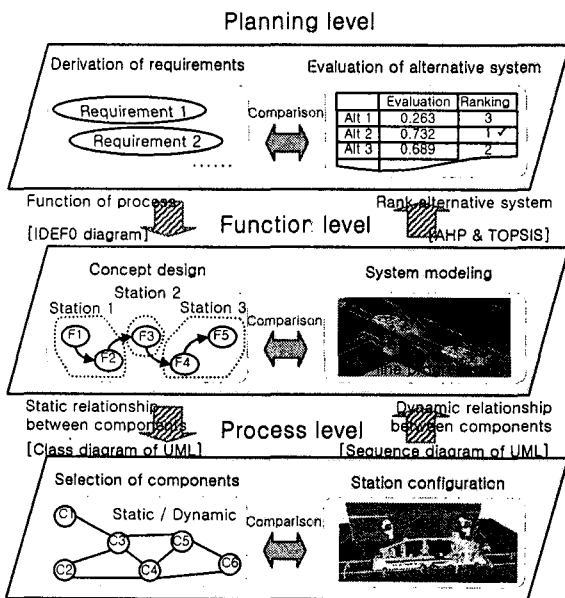


Fig. 1 Approach of planning for digital manufacturing system

이는 사이드 패널의 조립을 단순히 레이저용접만으로 수행하는 것이 어렵거나 불가능함을 의미한다. 레이저용접의 품질을 확보하기 위해서는 적절한 패일간의 간격($t=0.2\text{mm}$)을 유지하여야 하기 때문에 스폿용접과 비교하여 불필요하게 많은 수의 지그가 필요하게 된다. 또한 현재의 레이저 용접 기술로는 패일이 4 겹 구조로 구성되어지거나 높은 반사성을 가지는 표면을 가지는 부분에 있어서는 품질의 신뢰성 문제로 인하여 레이저용접을 적용

하는 것이 불가능하다. 구조적인 문제로 인하여 레이저용접 적용이 불가능한 용접점과 불필요한 지그의 수를 줄이기 위한 방법으로 이러한 점들에 대해서는 기존의 스폿용접을 그대로 사용하기로 하였다. 이를 통하여 set-up 시간을 단축하는 효과가 있고 결과적으로 전체 조립시스템의 조립시간을 줄이고 품질확보에 크게 기여하였다. 지그 설치점과 스폿용접점을 결정한 후 이들점들을 기반으로 하여 레이저용접 스티치를 생성하였다. 규칙

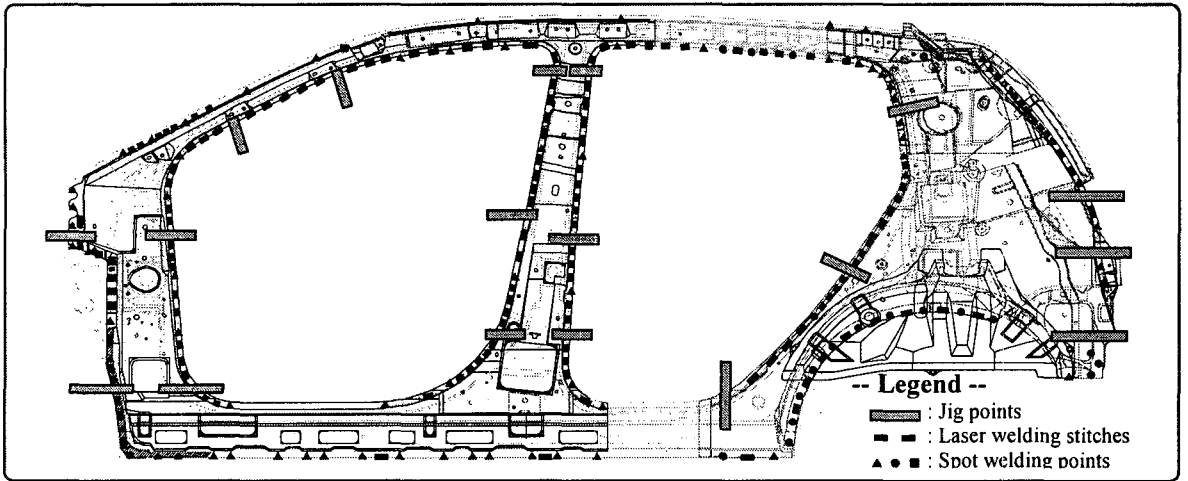


Fig. 2 Generation of laser welding stitches, spot welding Points and jig points

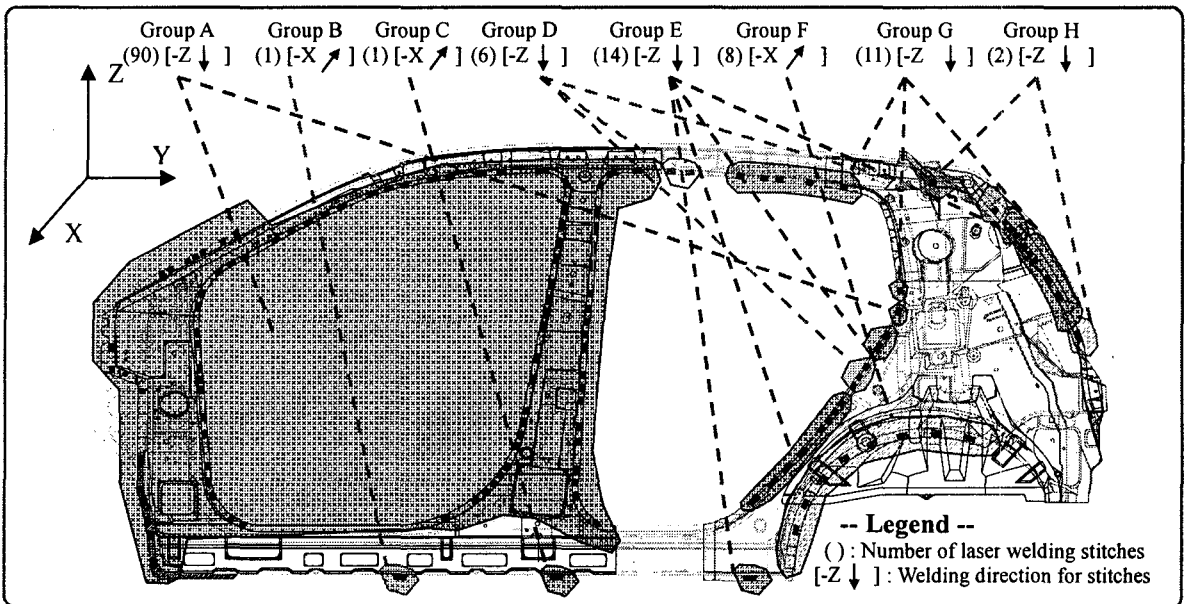


Fig. 3 Grouping of laser welding stitches based on process parameters

적인 점형상을 가지는 스폿용접과는 달리 레이저 용접은 스티치라고하는 다양한 길이의 용접선을 가진다. 스티치는 일반적으로 직선으로 생성되어지는데 이는 로봇의 티칭을 보다 간편하게 수행하기 위해서이다. 실험적인 결과와 참고문헌 등을 바탕으로 20-30mm의 스티치 길이가 적당한 것으로 제안되어졌다. 또한 재료에서 발생하는 응력과 열응력을 고려하여 스티치들 사이에는 10mm의 간격을 유지하도록 하였다. 그 결과 18개의 지그 설치점, 102개의 스폿용접점과 103개의 레이저용접 스티치가 생성되어졌다(Fig. 2).

생성되어진 스티치들의 레이저용접을 수행하는 과정에서 품질을 확보하기 위해서 프로세서 파라미터들을 선정하였다.⁶ 다양한 용접 실험들을 통해 획득되어진 자료를 기반으로 최적의 프로세서 파라미터들을 결정하였다. 그 결과 133개의 스티치들은 동일한 프로세서 파라미터를 가지는 7개의 그룹으로 정리되어졌다. Fig. 3에서 보는 것과 같이 그룹 A의 경우에는 -Z의 용접방향으로 0.04m/s의 용접속도로 4kW의 Nd:YAG 레이저를 사용할 때 최적의 품질을 확보하게 된다.

3. 시스템 개념설계를 위한 프로세서 모델링

제조시스템을 구현하기 위한 기본적인 계획요소로서 제품(Product), 제조공정(Process)과 제조자원(Resource)이 요구되어진다. 무엇보다도 우선 Product 분석을 기반으로 최적의 공정순서, 요구되는 시스템 구성요소와 아들간의 정보 흐름을 정의하기 위해서 프로세서 모델링이 수행되어진다. 이 과정에서 시스템모델의 신속한 수정과 재사용의 용이성을 위하여 객체 지향적인 모델이 사용되어졌는데, 본 연구에서는 다양한 모델들 중에서 IDEF0와 UML 모델이 선정되어졌다. 기술적인 묘사를 위한 도구로서의 IDEF0 모델은 시스템의 정적 기능성을 정의하기 위해서 사용되어졌다. 모델의 최상위에서는 시스템의 전반적인 분석과 구조적 및 설계에 대한 서술을 수행하고 하위로 내려갈수록 시스템 각각의 부분들이 보다 세밀하게 표현되어진다. 레이저용접 기술을 이용한 차체 사이드 패널의 조립을 위한 개념 설계가 Fig. 4에 나타나있다.

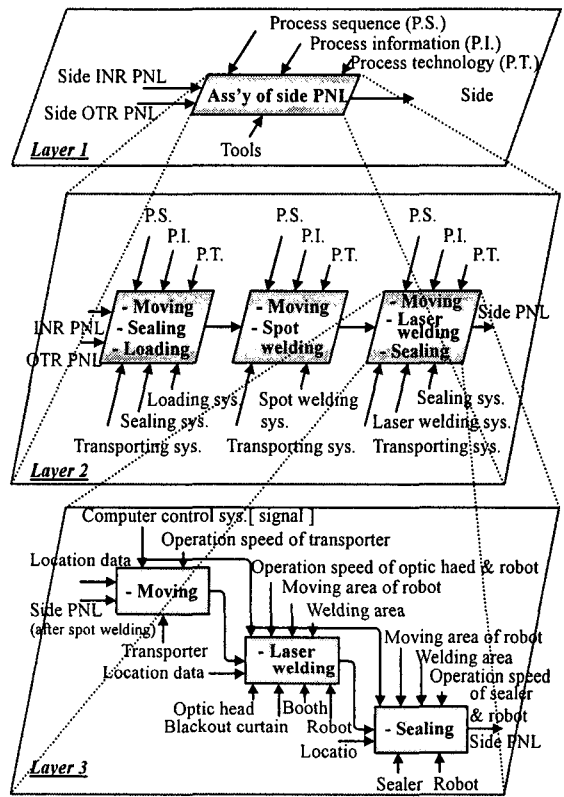


Fig. 4 IDEF0 model of the assembly system for automobile side panels

Fig. 4에서 최상위의 단계에서는 기존에 수행되어졌던 시스템 설계 경험 등을 이용하여 인너패널과 아웃터패널을 조립하여 완성된 사이드패널로 전환시키는 활동과 같은 시스템의 전반적인 사항들이 묘사하고 있다. 그 아래 단계의 각 상자들은 시스템의 기능성, 시스템 구성의 장애요소와 사이클 타임 등을 기반으로 각 단위 셀에서 요구되는 기능들을 나타내고 있다. 최하위의 단계에서는 해당 셀에서 수행되어지는 각각의 단위공정들에 대한 요구사항, 장애요소, 실제적인 용접 Know-how와 시스템 구성요소 등과 같은 주된 정보들을 정의함으로써 셀에서 수행되어지는 공정들을 보다 세부적으로 기술하고 있다.

각 셀에서 정의되었던 공정들을 실행하기 위한 조립시스템의 구성요소들을 UML의 클래스 다이어그램을 이용하여 파악하였다. Fig. 4에서 레이저용접과 실링공정에서 구성요소들의 작동은 움직임을 표현한 동작함수로 표현하였다(Fig. 5).

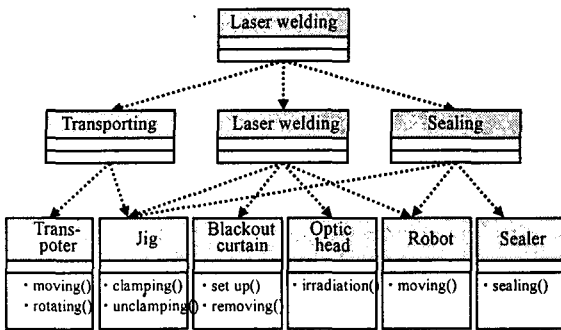


Fig. 5 Class diagram for the static relationship between system components

Fig. 5 의 하단부에서 보는 바와 같이, 레이저용 접과 실링공정을 수행하기 위해서 IDEF0 모델에서 표현되어진 것과 같이 사이드 패널의 이송을 위한 대차, 패널 고정을 위한 지그장치, 레이저용접을 수행하기 위해서 필요한 광학헤드와 로봇, 레이저 빔으로부터 작업자를 보호하기 위한 차단막, 실링공정을 위해 요구되는 실러건 등과 같은 구성요소들이 요구되어졌다. MOVING (start point : end point) 함수는 로봇의 움직임을 정의하기 위해서 사용되어진 대차의 동작함수 중의 하나이다. 이와 같이 클래스 다이어그램으로부터 획득되어진 각 구성요소와 이들의 동작함수들을 기반으로 하여 순차다이어그램을 적용하여 구성요소들의 배치와 상호작용과 같은 구성요소들간의 정적 및 동적 관계를 모델링하였다(Fig.6).

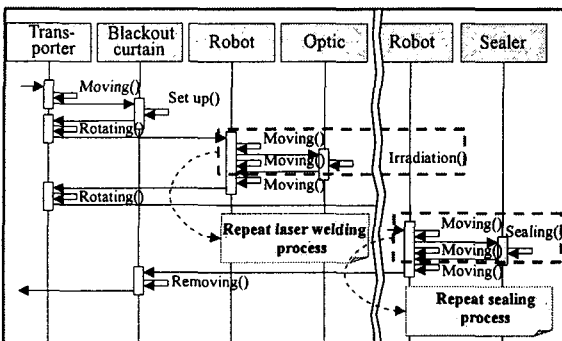


Fig. 6 Sequence diagram for the static relationship between system components

Fig. 6 에서와 같이 구성요소들간의 관계는 구성요소들의 동작을 표현하는 것과 시간에 따라 구성요소들 간의 정보를 전달하는 것의 두 가지로 나누어진다. 일반적으로 대차의 MOVING 함수와 같이 화살표가 자기자신으로 다시 되돌아오는 경우에는 주어진 시간 내에 대차를 초기의 위치에서 정의되어진 다른 지점으로 이동시키라는 의미이다. 반면에 다른 구성요소들간에 연결되어져 있는 화살표의 경우에는 각 구성요소들의 동작순서를 알려주기 위한 메시지의 전달을 의미한다. 이것은 하나의 구성요소가 자신의 업무를 모두 수행했음을 시스템 제어장치로 메시지를 보내면 제어장치는 또 다른 구성요소에게 새로운 업무를 할당하고 이를 수행하기 위한 시작의 메시지를 보낸다. 이러한 순차다이어그램은 GSL(Graphic Simulation Language)을 이용한 조립시스템의 공정을 시뮬레이션을 수행하는데 직접적으로 적용된다.

IDEF0 와 UML 모델을 수행한 결과, 사이드 패널을 조립하기 위한 공정들과 순서가 결정되었다. 그 후에 실험과 현장정보를 이용하여 각각의 공정을 수행하기 위해서 요구되는 작업시간들을 조사하였다. 이들을 기반으로 각각의 셀의 실제 이용 가능한 작업시간과 생산정보로부터 주어진 90 초의 사이클타임을 고려하여 전체 시스템의 조립을 위한 시간표를 작성하였다(Fig.7).

각각의 셀에서 실제로 공정을 수행하기 위해서 사용할 수 있는 시간은 이송시간 11 초를 제외한 79 초이다. 이러한 정보를 이용하여 공정순서, 이용 가능한 작업공간, 요구되는 셀의 수와 로봇의 수가 계산되었다. 그 결과, 본 연구 대상인 사이드 패널 조립시스템은 3 개의 셀에서 10 대의 로봇을 이용하여 수행하는 것이 가능한 것으로 판단되어졌다. 위와 같은 결정된 제조정보와 흐름생산방식과 같은 제조원리를 기반으로 제조장비들의 배치와 물류의 이송과 같은 조립시스템 구성을 위한 계획이 수행되어졌다. 로봇, 스폿건, 광학헤드, 지그 및 고정구들과 같은 생산 장비들의 특성, 용접 적용이 가능한 표면과 물류의 흐름과 같은 제조공정의 관점에서 조립시스템 구성을 위한 개념설계가 수행되어졌다.

첫 번째 셀은 사이드 인너 패널을 로딩하기 위한 로봇과 인너 패널과 사이드 패널 사이의 누수방지를 위해서 수행되는 실링공정을 수행하기 위해서 2 대의 로봇이 사용되어졌다. 일반적으로

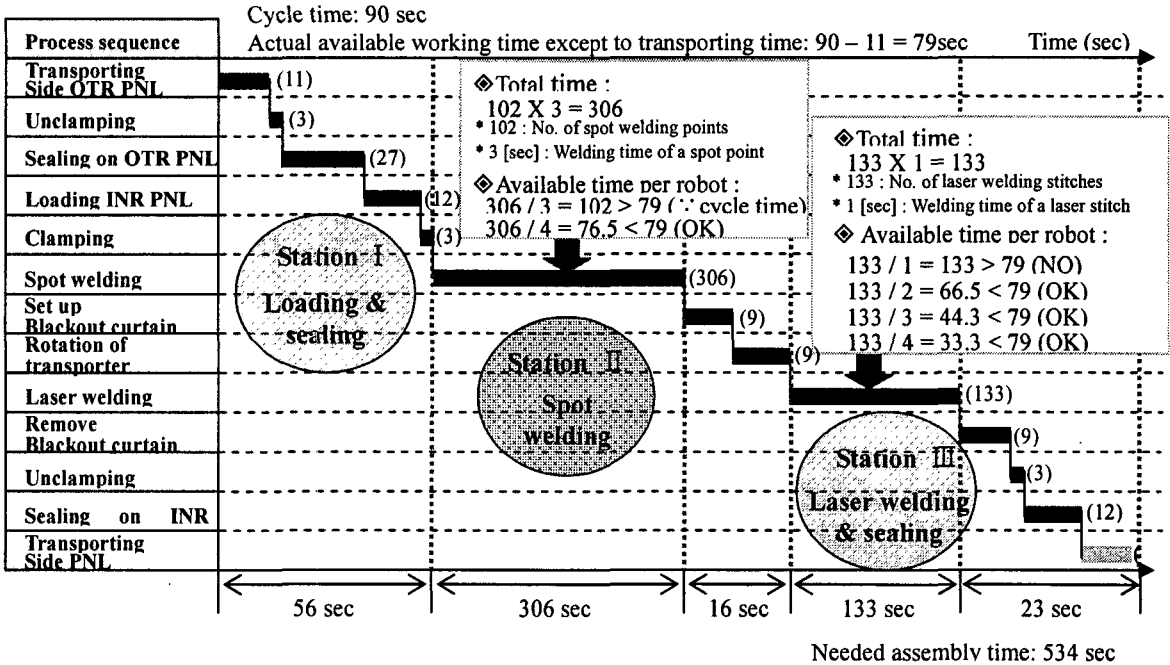


Fig. 7 Time table for assembling automobile side panels

레이저용접의 용접 품질을 확보하기 위해서는 패널 사이의 적절한 갭을 확보하여야 한다. 이를 위해서 레이저용접을 수행하기 이전인 두 번째 셀에서 4 대의 로봇을 이용하여 스프팅용접을 수행하였다.

레이저용접이 수행되는 세 번째 셀에서는 패널의 형상 및 로봇의 기구학적인 접근성 문제로 인하여 -X 방향의 스티치들을 용접하는 것이 불가능하였다. 이러한 문제를 해결하고자 회전 가능한 대차를 사용하였으며, 이로 인하여 레이저용접을 수행하기 위한 3 대의 로봇들을 한쪽방향에 배치하게 되었다. 또한 로봇의 적절한 원활한 움직임을 위하여 패널과 로봇간의 적절한 거리 간격이 필요한데 패널을 실은 대차가 회전하여 로봇에 가까워진 거리만큼 로봇들이 뒤로 물러나서 배치되어졌다. 그 결과 세 번째 셀은 나머지 두 개의 셀들에 비하여 크기가 커졌다(Fig. 8).

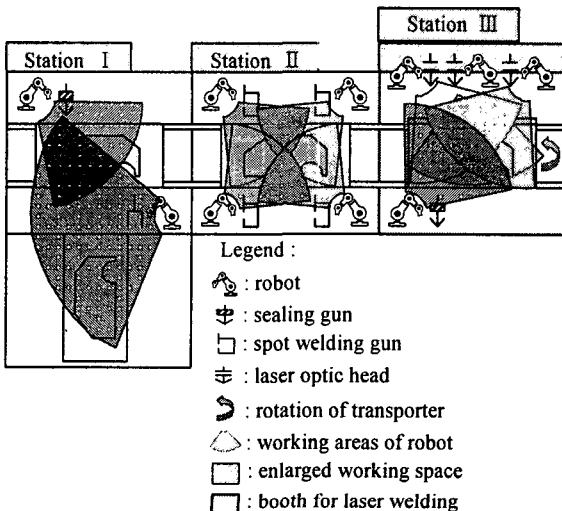


Fig. 8 Initial concept layout of the assembly system

4. 차체 조립을 위한 대체시스템의 생성

프로세서 모델링을 통해서 사이드패널의 조립 시스템을 구성하기 위한 초기 개념설계 레이아웃이 제안되어졌다. 비록 시스템 설계가 기업체의 기존 노하우를 기반으로 경험이 풍부한 전문가에 의해 수행되었다고 하더라도 제안되어진 시스템의 거동은 단지 설계자의 경험을 기반으로 추측된 것이다. 이러한 이유로 인하여 초기의 개념 레이아웃

웃들은 실제시스템으로 적용하기 위해서는 많은 문제점들을 지니고 있으므로 다양한 대체 시스템의 레이아웃을 생성하는 것이 필요하다. 보다 신속하고 효율적으로 대체해를 생성하기 위해서 최근에는 실제 시스템과 거의 비슷한 거동을 구현하는 것이 가능한 제조 환경의 구성과 시뮬레이션을 수행하는 것이 가능한 디지털 제조기술이 적용되어졌다. 이것의 장점은 설계단계초기에 간단하게 수행할 수 있으며 또한 설계단계에서 시스템의 최적화를 거의 이룰 수 있다. 실제로 제조시스템이 구현되기 전에 시스템의 효과와 적용가능성이 조사되어진다. 이러한 이유들로 디지털제조기술은 새로운 시스템의 설계를 위한 시간과 비용을 절감하기 위한 오늘날 가장 부각되는 기술 중의 하나이다.

3D 로 시스템 구성요소들을 모델링한 후 초기의 개념설계 레이아웃의 프로세서는 그 자체가 하나의 해로써 적용가능성을 평가하고 이를 기반으로 다양한 대체해를 생성하기 위해서 디지털제조 환경에서 시뮬레이션이 수행되어진다. Fig. 3 에서 B, C 와 F 그룹의 레이저용접 스티치들은 로봇의 기구학적 특성으로 인하여 -X 으로 용접이 되어질 수 없었다. 하지만 대차 위의 사이드 패널을 시계방향으로 90° 회전을 시킴으로써 스티치의 방향이 용접이 가능한 -Z 방향으로 바뀌었다. 이로 인하여 초기 개념 레이아웃에서 세 번째 셀의 레이저용접을 위한 3 대의 로봇이 다른 두 개의 셀과 비교하여 보다 큰 작업장의 크기를 요구하게 되었다. 또한 로봇의 배치가 조밀하여 용접공정시 충돌의 가능성이 발생하게 되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 Fig. 9 에서와 같이 3 가지의 대체해가 생성되어졌다. 이들 대체해들은 모두 주어진 사이클타임과 용접품질문제 등과 같은 제약조건들을 고려하여 제안되어졌다.

셀의 확장 문제를 해결하기 위해서 대체해 I 에서는 초기개념 레이아웃의 세 번째 셀에서 수행되던 133 개의 스티치에 대한 레이저용접을 두 개의 셀로 나누어서 수행하였다. 나누어진 두 개의 셀 중에서 처음의 셀에서는 용접방향이 동일한 123 개의 스티치들을 2 대의 로봇을 이용하여 용접하였고, 마지막 셀에서 프로세서 파라미터가 다른 그룹 B, C 와 F 에 속하는 10 개의 스티치들의 용접을 수행하였다. 마지막 셀에서는 로봇의 용접 접근성을 향상시키기 위해서 회전이 가능한 대차를 사용하였으며 로봇은 대차의 회전이 이루어지는 반

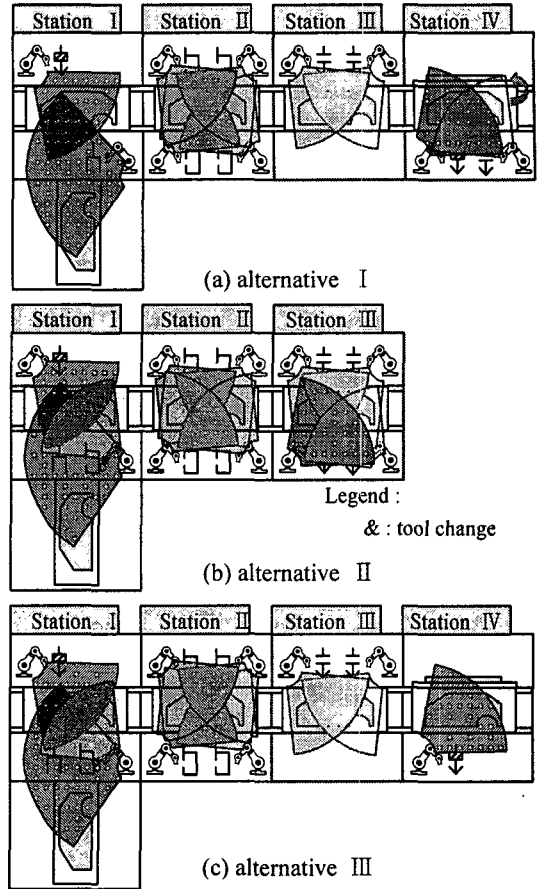


Fig. 9 Alternative layouts for the assembly system

대 방향에 위치함으로써 하나의 셀이 다른 셀의 크기보다 확대되는 문제를 해결하였다.

대체해 II와 III에서는 용접 접근성이 용이하지 않는 10 개의 용접 스티치를 기존의 스폿용접으로 대체하는 새로운 전략이 사용되어졌다. 이를 통하여 셀의 확대 문제가 해결됨과 동시에 대차의 회전 장치를 필요로 하지 않는 장점이 발생한다. 새롭게 생성되어진 10 개의 스폿용접점들을 용접하기 위해서 스폿용접을 수행하기 위해서 구성된 두 번째 셀에서 수행가능성을 조사하였다. 하지만 사이클타임의 초과와 로봇간의 충돌 가능성 발생 등의 문제로 인하여 불가능한 것으로 판단되었다. 사용되어진 로봇의 기능과 사이클 타임을 고려한 결과, 새롭게 생성된 스폿용접점들은 첫 번째 셀에서 사이드 인너 패널을 로딩하는 로봇의 공구교환을 거쳐 수행하는 것이 타당한 것으로 제안되었

다. 대체해 II의 세 번째 셀에서는 사이클타임을 충족시키기 위해서 3 대의 로봇을 이용하여 레이저 용접공정을 수행하였다. 대체해 II는 가장 적은 수의 셀로 구성되었지만 레이저 장비의 이용도가 낮은 문제점을 가졌다. 라인 밸런싱 측면에서는 단점을 가지지만 사용되는 로봇의 수를 절감하고 고가의 레이저 장비의 이용도를 증가시키기 위해서 대체해 III이 제안되어졌다. 그 결과 4 개의 셀로 구성된 프로세서가 제안되어졌으며 네 번째 셀은 겨우 32 초의 공정시간을 가졌다.

5. 대체 시스템의 평가

일반적으로 제조업체들은 저렴한 투자비용과 짧은 리드 타임으로 구성되는 간단한 장치들을 이용하여 양질의 제품을 생산하고자 노력하고 있다. 이러한 관점에서 대체해를 평가하기 위한 시스템 평가요소들이 비용측면, 시간측면, 시스템측면 및 제품측면에서 도출되었다. 비용요소는 장치를 구성하기 위한 투자비용과 작업장의 면적에 대한 비용으로 나누어졌다. 시간요소들은 사이클 타임의 최소화와 라인 밸런싱을 통한 장치들의 유용도를 다루고 있다. 시스템요소에서는 시스템유연성, 제조환경변화에 대응하기 위한 시스템 확장성, 자동화 정도, 구성장치들의 작동 효율과 시스템 구조의 간단성 등을 고려하였다. 마지막으로 품질의 신뢰성과 향상도가 제품요소에서 다루어졌다. 선택되어진 평가요소를 이용하여 대체 시스템들을 평가하기 위해서 대체해의 상호비교가 가능한 다요소 의사결정방법론(MADM; Multiple Attribute Decision Making)을 적용하였다. 또한, 평가요소들 사이의 상대적인

가중치를 결정하기 위해서 AHP(Analytic Hierarchy Process)방법론과 고유벡터법(eigenvector method)^[4]를 사용하였다. AHP 방법론은 계층적인 구조를 가지는 방법론으로 최상위에는 평가의 목표가 제시되어져 있다. 체계적인 분석을 통하여 각각의 평가요소들의 내용들이 점점 더 세분화 되어졌다. 각 단계마다 평가요소들의 상대적인 가중치를 결정하기 위해서 평가요소들간의 쌍대비교를 할 수 있는 고유벡터법이 적용되었다. 그 결과 평가요소들의 상대적인 가중치가 획득되어졌다(Fig. 10).

평가요소들의 가중치를 결정한 후, 제안되어진 대체해들 중에서 최적의 해를 결정하기 위해서 Hwang 과 Yoon 에 의해 제안되어진 TOPSIS 방법론을 사용하였다. TOPSIS 방법론은 최적의 해는 이상해에 가장 가깝고 부이상해로부터 가장 멀리 존재하는 한다는 개념을 이용하여 최적의 해를 결정하는 방법론이다. 이상해는 대체해들 중에서 해당 평가요소들의 값들 중에서 최상의 값으로 구성되어 있으며, 이와 반대로 부이상해는 최하의 값들로 구성되어졌다. 각각의 대체 시스템의 특성으로부터 조사 및 예측되어진 평가값들이 TOPSIS 의 입력값들로 사용되었다. 또한, 이상해와 부이상해를 결정하기 위해서 각 평가요소들의 정규화된 가중치 값들이 계산되었다(table 1).⁷ 이 값들을 기반으로 대체해들과 이상해와의 거리 S^+ 와 부이상해와의 거리 S^- 를 구하였다. 이들 값과 식 (1)을 이용하여 각 대체해들과 이상해와의 근접도를 평가하였다. 그 결과, table 1 에서 로드 밸런싱, 시스템의 간단성과 제품의 품질에서 높은 점수를 기록한 대체해 II가 최적의 해로 결정되었다(table 2).

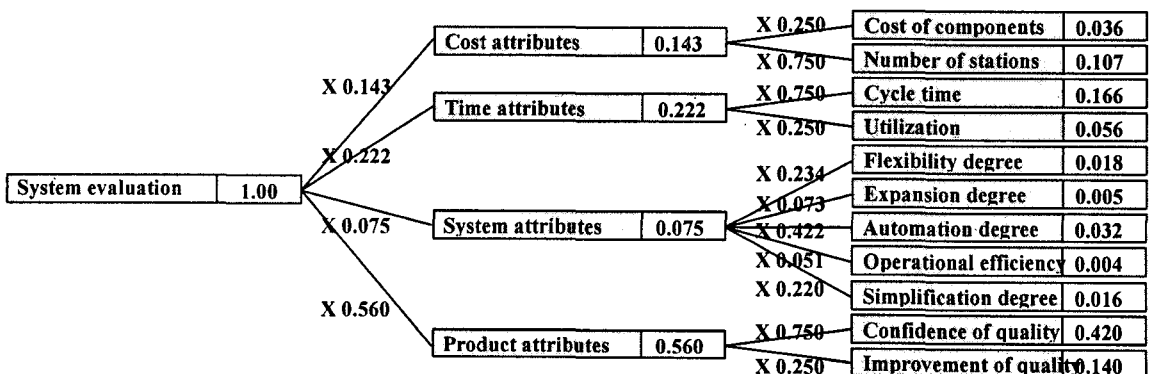


Fig. 10 Weight values of the criteria

Table 1 The calculated and weighted normalized value of the criteria in the alternative

Criteria Alternative	Alt 1	Alt 2	Alt 3
* Cost of components [x10 ⁶ \$]	2.413 (0.022)	2.407 (0.022)	1.867 (0.017)
* Number of stations [No.]	4 (0.067)	3 (0.050)	4 (0.067)
* Cycle time [sec]	89 (0.096)	89 (0.096)	89 (0.096)
* Utilization [%]	83.7 (0.030)	98.5 (0.036)	83.7 (0.030)
* Flexibility degree [-]	6 (0.012)	4 (0.008)	6 (0.012)
* Expansion degree [-]	8 (0.003)	6 (0.002)	8 (0.003)
* Automation degree [%]	100 (0.018)	100 (0.018)	100 (0.018)
* Operational efficiency [%]	56.3 (0.002)	57.3 (0.002)	64.2 (0.002)
* Simplification degree [-]	6 (0.007)	8 (0.010)	8 (0.010)
* Confidence of quality [-]	6 (0.197)	8 (0.262)	8 (0.262)
* Improvement of quality [-]	8 (0.096)	6 (0.072)	6 (0.072)

Legend :

* : Quantitative value

◇ : Qualitative value (Nondimension value:1~10)

$$UT = \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^k \frac{O.T.}{C.T.} \right) \quad OE = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \frac{W.T.}{C.T.} \right)$$

UT : Utilization

OE : Operational Efficiency

K : number of stations

n : number of robots

O.T. : Operational time of each station

C.T. : Cycle time of the system

W.T. : Working time of each robot

xx : Values belonging to the Ideal solution

$$C = \frac{S^-}{S^- - S^+} \quad (1)$$

S⁻ : the distance of the alternative system from the ideal solution

S⁺ : the distance of the alternative system from the negative ideal Solution

Table 2 Ranking of the alternative systems

	S ⁻	S ⁺	C	Ranking
Alt I	0.068	0.024	0.263	3
Alt II	0.025	0.068	0.732	1
Alt III	0.030	0.066	0.689	2

6. 시스템의 구현

선택되어진 대체 시스템 II를 적용할 경우에 발생 가능한 문제점들을 조사하기 위해서 대체 시스템 II를 DELMIA 를 기반으로한 디지털환경에서 구현하였다(Fig. 11).

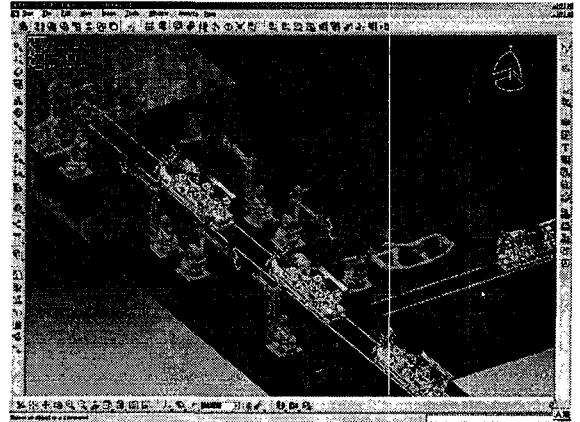


Fig. 11 Implementation of the digital assembly system for automobile side panels

시스템의 요구사항들과 구성요소들의 수행능력을 고려하여 시스템 구성을 위한 최적의 구성요소들을 결정하였다. 이들을 객체지향적인 모델링 기법을 기반으로하는 3D CAD tool 을 이용하여 모델링되었다. 기존에 3D 로 모델링작업이 수행되어졌던 사이드 패널, 로봇, 지그와 같은 구성요소들은 현장의 모델들을 그대로 사용하였다. 광파이버, 레이저 발진기와 부스 등의 부수적인 구성요소들의 기하학적, 기구학적인 데이터들은 과제에 참가한 차체 조립업체의 현장 정보를 수집을 통하여 수행함으로써 디지털시스템의 신뢰성을 향상시켰다. 3D 로 모델링되어진 구성요소들은 라이브러리에 저장되어지고 새로운 시스템을 구현할 경우에 검색 및 호출을 통하여 다시 재사용되어진다.⁸

사이드 패널 조립을 위한 디지털 시스템은 3

개의 셀에서 10 대의 로봇, 4 개의 대차, 1개의 레이저용접 부스로 구성되어졌다. 사이클 타임의 충족, 요구되는 용접품질을 확보와 물류의 흐름을 위한 시간을 최소화하기 위해서 조립시스템의 운영과 프로세서의 수행 가능한 용량을 증명하기 위한 시뮬레이션이 OLP 기술을 기반으로 수행되어졌다.

순차 다이어그램에서 제공되는 이벤트의 순서에 따라 프로그래밍을 수행하는 과정에서 모든 스티치들에 대한 광학헤드의 접근성, 지그 등과 같은 장치들 간의 충돌 가능성, 품질 확보를 위한 용접 프로세서, 용접 경로 추적을 위한 센서의 적용 필요성 등이 조사되어졌다. 조립 시스템의 설계와 운영 단계에서 발생하는 주된 문제점들 중에 하나가 각각의 라인에 존재하는 각각의 셀들간의 로드 밸런싱 문제이다. 충분한 시뮬레이션을 통해 라인 밸런싱 문제를 검토한 결과 주어진 셀에서의 사이클 타임은 86 ~ 89 초 사이의 값을 가졌고 이는 주어진 90 초의 사이클 타임을 충족시키는 값이다.

7. 결론

제조비용절감과 제품의 품질 향상을 위해서 차체 조립업체들은 전통적인 스폿용접에서 레이저용접으로 전환하고자 노력하고 있다. 이러한 기술의 적용을 위해서 주된 공정변수들과 제품의 재질과 형상에 따른 특성들이 수 많은 레이저용접실험을 통해 조사되었다. 결과적으로 레이저용접을 수행하기 위한 스티치들이 용접 프로세서 파라미터들에 따라 결정되어졌다. 각각의 용접 그룹의 용량과 요구사항들을 비교하여 적절한 구성요소들을 결정하였다.

선택되어진 구성요소들을 이용하여 차체 사이드 패널 조립시스템을 구현하기 위해서 디지털 제조기술이 적용되었다. 이러한 목적으로 체계적인 절차가 제안되어졌고 기술적, 기능적인 관점의 고려하에서 다양한 대체 시스템들이 제안되어졌다. 최적의 조립시스템을 결정하기 위해서 다요소의사 결정방법론 중의 하나인 TOPSIS 방법론을 사용하였다.

본 연구는 디지털 제조시스템의 구현방법과 레이저용접의 적용범위 확대에 기여하였다. 이러한 경험을 바탕으로 하여 향후에는 차체 전체를 대상으로 하는 조립시스템을 구현하고자 한다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 차세대 생산시스템 개발사업비 지원으로 수행하였으며 이에 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Anelle, J., "Virtual Manufacturing for Design and Production," Proceeding of 1998 Deneb User Group, Vol. 1, No. 1, pp. 1-4, 1998.
2. Nor, S. D., Lee, K. I. and Han, H. S., "Using Visual Manufacturing Technologies for Continuous Verification of Products, Process and Resources in Manufacturing Preparation of Automotive Companies," The 35th CIRP International Seminar on Manufacturing System, Vol. 1, No. 1, pp. 245-252, 2002.
3. Booch, G, Rumbaugh, J. and Jacobson, I., "The Unified Modeling Language User Guide," Wesley Longman, Inc., 1999.
4. Sen, P. and Yang, J. B., "Multiple Criteria Decision Support in Engineering Design," Springer-Verlag, London, 1998.
5. Steen, W. M., "Laser Material Processing," 2nd Edition, Springer-Verlag, London, 1998.
6. Park, H. S., Choi, H. W. and Kang, M. J., "Implementation of Digital Laser Welding Cell for Car Side Panel Assembly," Journal of KSPE, Vol. 22, No. 5, pp. 113-120, 2005.
7. Hwang, C. L. and Yoon, K., "Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications," Springer-verlag, Berlin, 1981.
8. 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.