

## 굴삭기공장에서 로봇을 이용한 용접공정의 3D 시뮬레이션 사례 연구<sup>+</sup>

문덕희\*, 조현일\*, 백승근\*

### A Case Study of the Design of Robot Welding Station in an Excavator Factory Using 3D Simulation

Dug Hee Moon\*, Hyun Il Cho\*, Seung Geun Baek\*

#### Abstract

Virtual Manufacturing is a powerful methodology for developing a new product, new equipment and new production system. It enables us to check the errors in design before production. This paper deals with a case study of virtual manufacturing in an excavator factory. Boom and rotating table of upper body are selected for application.

3D models of parts and fixtures are developed with CATIA and 3D simulation models are developed with IGRIP. These models are used for the design of fixture to verify the motion of the equipment. As a result, the manual welding systems are replaced by automatic systems and many design errors are corrected in the design phase, which enables us to reduce the developing cost and time.

**Key Words:** virtual manufacturing, 3D simulation, excavator, welding, robot

<sup>+</sup> 본 연구는 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과입니다.

\* 창원대학교 산업시스템공학과

## 1. 서론

급속한 IT기술의 발전은 제품의 Life Cycle을 단축시키고 국가 간, 기업 간의 경쟁을 더욱 심화시키고 있다. 이런 급속한 IT기술의 발전에 따라, 제조현장은 실물중심의 설계와 생산방식에서 벗어나 이제는 컴퓨터를 이용한 가상공간에서 설계부터 생산까지 사전에 검토하는 Virtual Manufacturing(VM)개념이 보편화되고 있다. VM은 기존 또는 새로운 여러 정보기술들을 미리 생산시스템에 도입하여 가상적으로 전 제품 수명 주기에 걸친 생산 활동을 사전에 수행해 볼 수 있는 컴퓨터 모델로, 이를 이용하면 생산 활동에서 빈번하게 발생하고 상황 변경 시 추가되는 비용과 시간의 낭비를 최소화 할 수 있다(Iwata 등 [1]).

VM의 기술은 설계 및 생산에 훌륭한 기여를 할 수 있고, 또한 기술력이 세계적으로 보편화 되고 있어서 그에 관한 많은 Software가 개발되어있다. 국내에서도, 이와 관련된 연구가 많이 진행되고 있으며, 특히, 3D CAD 분야에서는 괄목할 만한 기술보급이 이루어졌다. 하지만 Work Cell Simulation, Manufacturing Line Simulation 등 VM을 이용한 3D 시뮬레이션 기술보급은 아직 보편화 되지 못한 실정이다. 생산라인을 설계하고 운영하는 과정에서 발생할지 모르는 변동요인들이 시스템에 어떤 영향을 미치며, 최적의 시스템이 어느 것인지 분석하기 위한 가장 유용한 도구는 시뮬레이션이다(문덕희 외 [2]).

장호림[3]은 디지털 매뉴팩처링 기법을 이용한 조선소 내 단위 공장의 디지털 통합 모델 구축을 위한 연구를 한 바가 있으며, 이 논문에서는 가상 NC시뮬레이션 및 이산사건

시뮬레이션을 이용하여 표준 공정 및 생산 물류 시뮬레이션을 수행하였다.

Qiu RG(2005)는 가상생산라인을 기초로 한 반도체 생산 시스템의 Work-In-Process (WIP)관리에 관한 연구를 진행하였는데, 반도체 생산에 있어 그 복잡성과 지속적으로 증가하는 장비와 비용에 관한 문제, 재공품 재고 관리 등의 문제를 VM을 이용한 시뮬레이션을 통해 해결하였다.

이밖에도, 국내 및 국외에서 수많은 연구가 진행되고 있으나, 현재 국내에서 3D 시뮬레이션 기술력을 자체적으로 보유한 회사는 자동차회사인 H사, G사 등 5개 정도의 대기업에 국한되어있으며, 이들도 자체적으로 보유한 인력이 충분하지 않아 독자적으로 대형 프로젝트를 수행할 수 없는 실정이다. 비록 위와 같은 상황이라 할지라도, 자동차업체는 이미 3D 시뮬레이션을 사용하고 있고 정착되어가고 있지만, 다른 산업에서는 아직까지 3D 시뮬레이션의 도입이 제대로 활성화 되지 못하고 있다.

특히, 건설중장비산업은 다른 산업과 비교하여 그 단위와 경제적인 규모가 크지만 아직까지 VM의 도입이 미흡한 실정이다. 현재 국내의 건설중장비 업계의 VM기술 현황을 보자면, 제품 및 부품의 설계 일부부분에는 3D CAD가 도입되어 있으나, JIG나 Fixture 등 치구설계는 2D CAD가 일반적으로 사용되고 있다. 따라서, 설비 제작과정에서 여러 번의 시행착오를 겪고 있으며, 작업장 구축단계에서도 또 한 번의 시행착오를 겪고 있다.

최근 들어 일부 건설중장비 완성차업체를 중심으로 VM을 도입하고자 하는 움직임을 보이고 있지만, Sub\_Assembly를 생산하는 중소기업의 경우 대부분이 3D CAD조차 활용하

지 못하는 실정이며, 3D 시뮬레이션의 필요성을 충분히 알고 있지만, 아직까지 관련된 연구를 진행하지 못하고 있다.

## 2. Virtual Manufacturing(VM)

### 2.1 VM의 정의

VM은 제품설계 및 생산 전 과정에 걸쳐서 의사결정의 질을 향상시키기 위한 통합화된 모의환경이다. 이는 실제 제조환경과 흡사한 컴퓨터 모델을 구축하고, 이를 이용하여 실제 제조환경을 수정하고 제어함으로써, 제품의 개발 및 제조 Cycle Time을 줄이기 위한 방법이라고 할 수 있으며, 제품의 설계 및 생산을 지원하기 위해 컴퓨터 모델이나 시뮬레이션을 사용하는 것을 말한다.

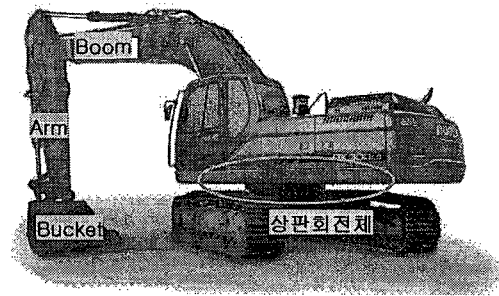
### 2.2 VM의 범위

VM의 범위는 설계중심의 VM, 공정운영 중심의 VM, 생산 시스템중심의 VM 등 크게 3가지 정도로 나누어 생각해 볼 수 있다. 설계중심의 VM은 설계단계에서 설계자에게 생산에 필요한 정보를 사전에 제공하여 고품질의 제품을 설계하고, 유연성 및 조립성 등과 같은 목표를 달성하기 위하여 제품설계(Product Design) 단계에서 VM 기술을 이용하는 것을 말한다. 3D CAD 관련 기술이 대표적인 설계중심의 VM 기술이다. 반면에 공정중심의 VM이란 단위기계에서의 공정(가공, 프레스, 용접, 도장 등)에 대한 검증하기 위한 것으로 특정 공정을 구현하는데 적합한 많은 소프트웨어 들이 개발되어 있다. 생산 시스템 중심의 VM은, 여러 가지 생산 대

안들을 보다 쉽고 빠르게 평가하기 위해 생산 과정을 시뮬레이션 하는 것으로 배치계획, 생산능력평가, 버퍼분석, 물류시스템 설계, 라인 밸런싱 등을 주요 대상으로 한다.

## 3. 굴삭기의 생산 개요

건설 중장비는 굴삭기, 지게차, 천공기, 로더, 모터롤러 등 수많은 종류가 있으나 이번 연구는 굴삭기를 중심으로 진행하였다. 일반적으로 굴삭기는 버킷을 이용하여 땅을 파는 장비로써, 그 구성은 일반적인 차량과 같이 프레임 위에 엔진과 바디가 취부(Mount)되며 작업을 위한 상판회전부(선회베어링)와 Boom, Arm, 버킷(Bucket) 등으로 구분된다.



<그림 1> 굴삭기의 구조

특히, Boom, Arm, 버킷, 프레임, 상판회전부(선회베어링) 등을 제작하기 위해서는 3t 이상의 두꺼운 철판을 절단 및 용접하여야 한다. 철판의 절단은 이미 레이저 절단기 등의 기술발달로 자동화가 이루어져 있다. 자동차체공장에서 대부분의 용접공정을 VM을 이용하여 설계하고 자동화시킨 것에 반하여 중장비 산업에서는 아직도 작업자의 수작업에 의존하는 비율이 높다. 일반적으로 CO<sub>2</sub> 용접을 할 경우 형상의 뒤틀림이나, 철판의 인장

에 의한 불량을 제거하기 위해 가접 후 본접을 하는 2단계 공정을 거쳐야 하는데 가접공정보다는 본접공정 위주로 자동화가 되어있으며, 직선구간 등 용접경로가 단순하고 용접량이 많은 부분에 한하여 용접 로봇을 사용하고 있는 실정이다. 하지만 자동화 설비 개발을 위해서 VM 기술을 사용하지 않고 있는 실정이다.

#### 4. 연구내용

##### 4.1 연구의 범위

굴삭기의 전체적인 부분을 VM을 이용하여 자동화를 위한 기반을 갖추기에는 그 범위가 너무 방대하므로, 본 논문에서는 굴삭기의 일부인 Boom과 상판회전체 가접/본접공정을 자동화시키기 위한 VM기술 적용을 다루고자 한다. 구체적으로는 <표 1>에 있는 바와 같이 3D CAD 개발도구인인 CATIA를 이용하여 Boom과 상판회전체(선회베어링)에 대한 부품을 설계하였으며, Boom과 상판회전체의 가접과 본접에 필요한 치구를 설계하였다. 또한 IGRIP을 이용한 장비와 작업물간의 간섭을 체크하였으며, 또한 용접 로봇의 경로를 생성하여 OLP(Off Line Programing)적용을 위한 기반을 갖추었다.

IGRIP을 사용하여 장비를 시뮬레이션하는 것은 장비와 치구, 치구와 장비, 장비와 로봇, 로봇과 장비간의 동작 중 간섭을 체크할 수 있는 이점만 있는 것이 아니라, 작업구동에 필요한 데이터를 입력하여, Cycle Time을 예측할 수도 있으며, 장비 및 로봇의 구동 속도, 구동의 시작과 종료 중에 발생하는 가속과 감속도, TCP(Tool Center Point)의 위치와 장비

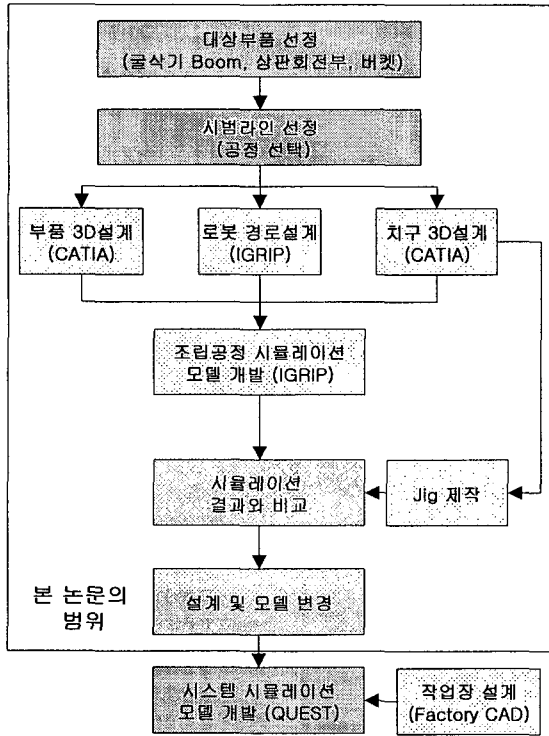
의 구동방식인 Move Type 등과 같은 실제 작업에서 일어나는 모든 상황을 정확하게 구현하고 검증할 수 있기 때문에 OLP의 기초자료를 얻는데 도움을 주기 때문이다.

<표1> 연구의 범위

개발내용	Boom		상판회전체 (선회베어링)	
	가접	본접	가접	본접
CATIA를 이용한 부품 3D 설계	○		○	
CATIA를 이용한 치구 3D 모델 설계	○	○	○	○
IGRIP을 이용한 간섭확인	○	○	○	○
로봇을 이용한 자동화 라인 설계 및 로봇 Teaching	○	○	○	

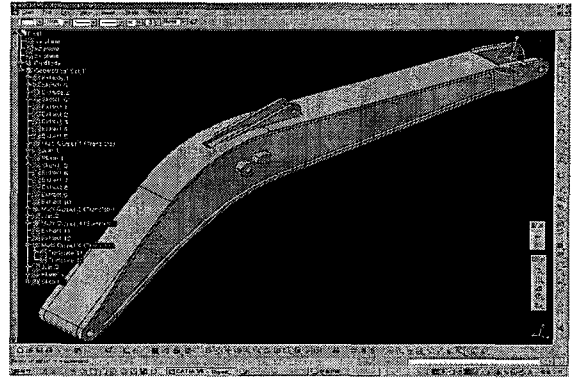
##### 4.2 제품 및 치구의 3D 모델링

이 연구의 전체적인 추진 방법은 <그림 2>에 제시된 바와 같다. 궁극적인 목표는 가접공정과 본접공정을 통합한 자동화 라인을 설계하고 3D 시뮬레이션을 이용하여 검증하는 것이다. 하지만 본 논문에서는 개별 공정에 대해 용접자동화 시스템을 구축하는 것으로 범위를 국한시켰다.

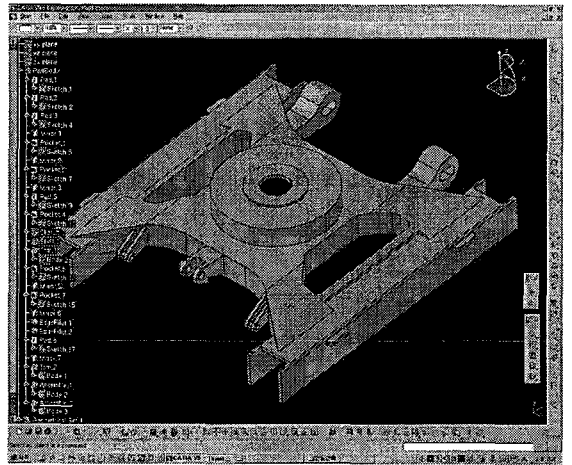


<그림 2> 연구 추진 흐름도

<그림 2>의 순서에 따라 연구 대상 부품인 Boom, 상판회전체, 버켓 중 용접에 의한 변형에 가장 민감한 Boom과 상판회전체의 가접, 본접 공정을 연구대상으로 선정하였으며, 이들 부품을 CATIA를 이용하여 3D CAD로 설계하였다. <그림 3>은 설계된 Boom의 모델이며, <그림 4>는 상판회전체의 전체의 모습이다.



<그림 3> CATIA를 이용한 Boom 3D 모델

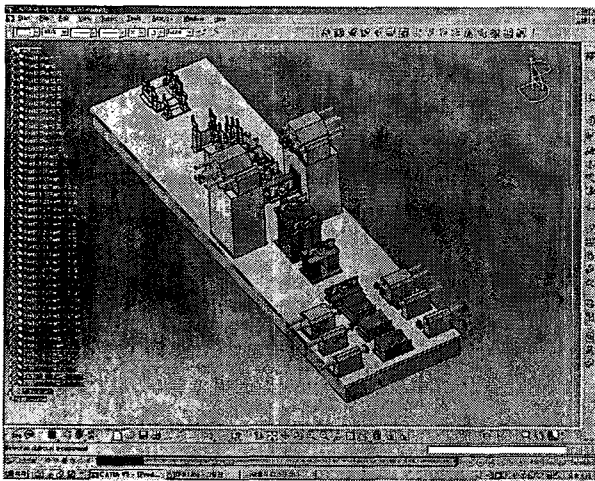


<그림 4> CATIA를 이용한 상판회전체 3D 모델

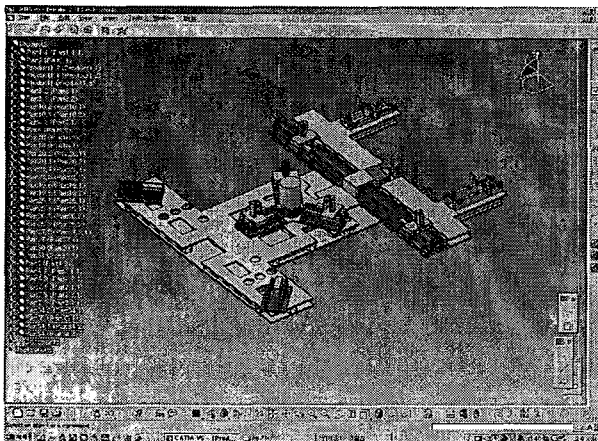
다음 단계는 두 제품의 용접을 위한 치구를 설계하는 일이다. Boom은 용접을 위한 단품의 크기가 크고 용접부위가 넓어서 변형을 고려하여 용접점을 여러 블록으로 나누어 가접한 후 다시 본접을 해야 하는 부품으로 가접 시 각 단품의 형상이 변형되지 않고 위치를 벗어나지 않게 고정하는 치구의 설계가 우선시 되어야 한다. 그래서 Boom 가접을 위한 치구를 3D 모델링하였다.

상판회전체의 경우는 용접부위가 회전면이

라서 치구가 45도 이상 tilting이 가능하여야 한다. 치구의 tilting이 가능하여야만, 로봇의 용접건(gun)이 위쪽방향에서 작업을 할 수 있게 되므로 용접면의 품질이 좋아진다. 이와 같은 목적으로 따라서 작업이 원활하게 수행될 수 있다. <그림 5>는 CATIA를 이용하여 설계한 Boom 의 가접치구이며, <그림 6>은 상판회전체의 가접치구다.



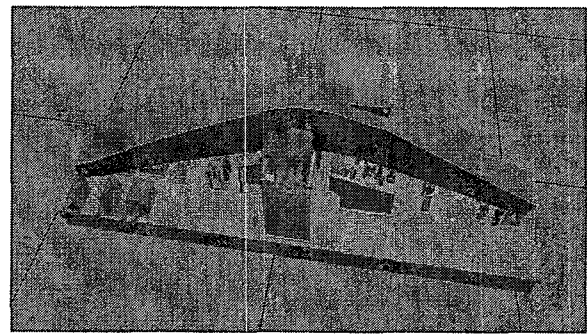
<그림 5> Boom 가접치구의 3D 모델



<그림 6>상판회전체의 가접치구 3D 모델

#### 4.3 IGRIP을 이용한 3D 모델 변환

위와 같이 CATIA에서 설계된 부품과 치구를 장비와 부품 또는 작업물간의 간섭을 체크할 수 있고, 로봇 Simulation을 할 수 있는 IGRIP 용 3D 모델로 변환하였다. 이를 위해 CATIA의 모델을 부품단위로 쪼개서 WRL형식의 파일로 변환하여 IGRIP에서 불러들인 후 다시 조립을 하였다.



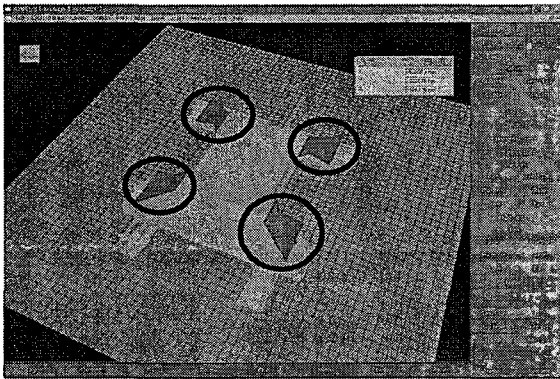
<그림 7> IGRIP에서 치구에 Boom을 장착



<그림 8>IGRIP에서 치구에 상판회전부 장착

<그림 7>은 Boom과 가접치구가 IGRIP에서 조립된 모습이며, <그림 8>은 상판회전체

가 가접치구에 장착된 모습이다. 이와 같은 과정을 통하여 <그림 9>와 같이 치구와 제품에 간섭이 발생하는 것을 확인할 수 있었고, 이를 반영하여 치구 설계변경을 하였다. 특히 2D 설계를 하는 경우 설계오류가 빈번하게 발생하는데, 이러한 과정은 치구설계에 있어서 초기설계의 수정 및 보완되어야 할 부분을 찾아내고 재작업에 따른 위험을 줄이기 위해 반드시 선행되어야 한다. 이러한 시뮬레이션은 초기에 설계된 치구설계를 변경하고 치구 제작 시 시뮬레이션의 결과를 반영하여 하나의 치구에서 최대한 여러 종류의 Boom이나 상판회전부의 조립작업이 가능한 치구를 제작할 수 있는 데이터로 이용할 수 있다.



<그림 9> 치구와 상판회전부와의 간섭확인

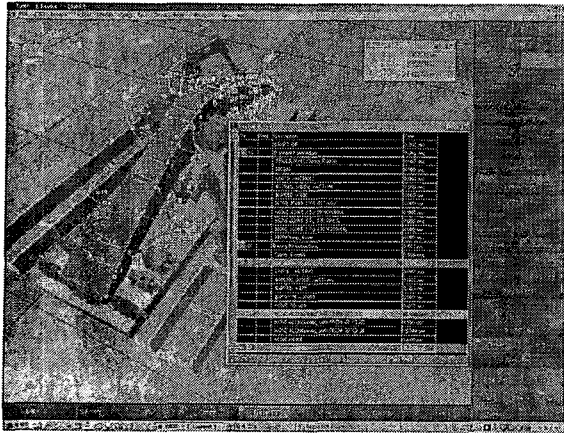
#### 4.4 자동화 로봇 모델링 및 용접경로 생성

건설중장비의 Boom이나 Arm, 상판회전부는 그 크기가 상당히 크고 spot 용접으로는 중장비로서 견뎌야 하는 하중을 지탱할 수 없기 때문에 seam 용접을 한다. 앞에서도 언급한 바와 같이 seam 용접을 할 경우 용접에 의한 작업물의 변형이 일어나기 때문에 용접입계길이를 넘어설 수가 없다 (박정웅 [5]). 그래서

이러한 경우 가접이 선행되어야 한다.

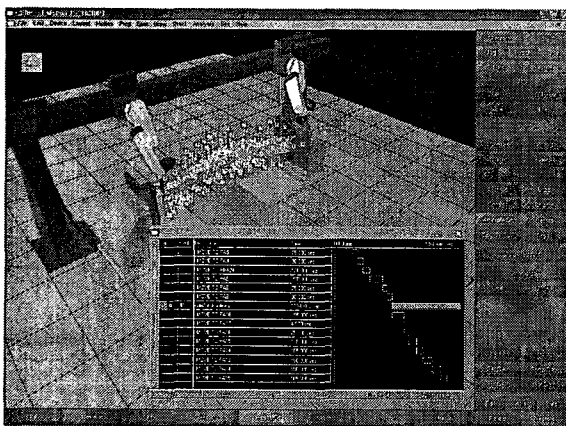
Boom의 경우 철판의 용접에 의한 변형을 최소로 하기위해 유압을 이용한 치구위에 Boom의 단품을 조립하여 위치시키고 일차 가접을 한 다음, 본접을 위한 치구에 가접이 완료된 Boom을 결합하여 본접을 완료한다. 이러한 방식은 Arm이나 상판회전부에도 똑같이 적용된다. 가접 역시 spot 용접이 아니라 seam 용접이지만 용접이 되는 부분이 짧고 일정한 간격을 유지하기 때문에 용접열에 의한 변형을 최소화한다. 또한 본접을 할 때 그 형상이 변형되지 않게 잡아주는 역할을 하게 되어 보다 안정적인 용접 작업을 할 수 있게 해준다.

Boom은 그 길이가 최소 2m이상 되기 때문에 가접을 위한 용접 로봇이 고정되어 있으면 치구가 움직이거나 Boom을 움직여야 하는데, 이러한 방법을 사용하면, 위치이동에 의한 Boom의 단품위치가 변화될 수 있기 때문에 치구와 Boom은 고정된 상태에서 가접 로봇이 움직이는 것이 바람직하다. 그러므로 이러한 작업이 가능한 7축 로봇을 설계하여 가접이 용이하게 하였다. 이를 위해서는 OLP를 통하여 로봇의 용접점을 정의하고 용접경로를 생성하고 이 용접경로를 가장 안정된 자세로 로봇이 따라갈 수 있게 로봇의 이동경로를 생성하여 Teaching 하는 것이 핵심이라 할 수 있다. 또한, 용접경로를 따라 최단거리로 이동하면서, 로봇과 Boom, 치구간의 간섭이 발생하지 않도록 확인하여 최적의 용접경로를 생성하는 것이 중요하다. IGRIP에는 기존에 상용화되어 있는 로봇제품들이 라이브러리로 포함되어 있어 손쉽게 작업의 목적에 알맞은 로봇을 선정할 수 있다. <그림 10>은 Boom 가접 공정을 IGRIP으로 구현한 것이다.



<그림 10> IGRIP을 이용한 Boom 가접 Robot Teaching

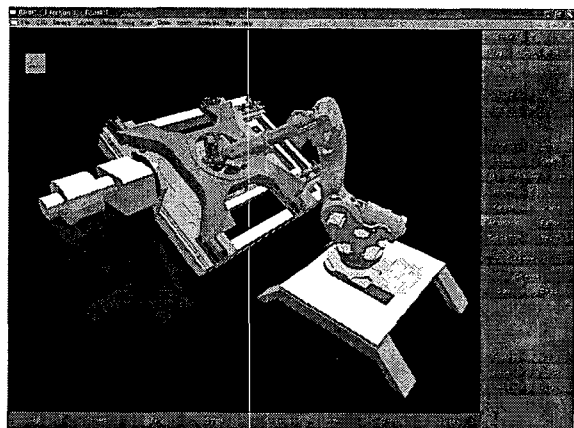
가접이 완료되면 본접공정이 이루어지는데 본접의 경우 이미 Boom의 형상이 가접을 통해 완전히 자리를 잡았으므로, 더 이상 치구로 단품의 위치를 고정할 필요가 없어진다. 철판과 철판사이를 완전히 seam 용접하여야 하기 때문에 용접 Gun이 지나야 할 부분에는 방해물이 없는 것이 가장 적합하다.



<그림 11> IGRIP을 이용한 Boom 본접 Robot Teaching

<그림 11>과 같이 본접 치구는 Boom의 양쪽 끝만 고정시켜 용접 Gun의 이동경로를 방해하지 않으며, 이미 고정된 Boom의 용접을 용이하게 하기 위해 회전이 가능하게 설계하였다. 본접 Robot은 가접에 비해 용접해야 되는 부분이 상대적으로 많아 그만큼 작업이 오래 걸리게 된다. 자동화 라인을 설계할 때, 애로공정이 될 수 있기 때문에 용접로봇을 두 대 설치하여 작업시간을 줄였다.

상판회전부 역시 Boom의 경우와 크게 다르지 않으나, Boom의 용접이 직선형이었다면 상판회전부는 곡선용접이 필요한 부분이다. 상판회전부의 형상이 <그림 4>와 같이 중앙은 원형이고 테두리는 각진 형태라서 상판회전부의 가접이나 본접 치구는 중앙의 원형부분을 고정시켜줄 필요가 있다.



<그림 12> IGRIP을 이용한 상판회전체 가접 자동화 모델링

앞에서도 언급한 바와 같이 상판회전부의 치구는 45도 이상 tilting이 가능하여야 하며 실제 설계된 치구는 <그림 12>와 같이 120도 이상 tilting이 가능하다. 상판회전부의 치구가 Boom의 경우와 달리 움직여도 가능한 것은



선회베어링 부분이 상대적으로 작은 부품이고, 원 안에서 3점을 고정하는 방식이라 부품이 유동하지 않고 정확한 위치에 고정되어 있을 수 있기 때문이다. 상판회전부의 용접은 치구가 tilting하기 때문에 용접로봇은 고정되어있다. 용접경로 및 로봇 Teaching은 Boom과 동일하다.

## 5. 결론

본 연구는 굴삭기 제조공정 자동화를 위하여 Virtual Manufacturing 기술을 응용한 사례다. 이를 위해 Boom과 상판회전부의 가접 및 본접치구의 설계를 검증하고 용접로봇의 용접경로 생성과 로봇 Teaching을 위한 OLP를 수행하였다. 그 결과 아직까지 VM의 도입이 미흡한 건설중장비분야에 설계중심의 VM인 3D CAD뿐만 아니라, 고가의 장비, 소프트웨어 등의 문제로 수행할 수 없었던 공정중심의 VM을 도입하는 기반을 마련하였다.

치구설계 및 제작과정에서 3D 시뮬레이션을 응용한 결과 사전 검증효과로 설계변경에 따른 수정회수가 과거에 비해 50%이상 감소하였고 제작비용의 절감과 납기준수를 향상의 효과를 얻을 수 있었다. 또한 이번 연구에서 개발된 요소부품의 3D모델을 Library화하여 향후 유사제품 제작 시 설계제작기간의 단축 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

[1] Iwata.K. M. Onosato. K. Teranmoto. and S. Osaki.“Virtual Manufacturing Systems as Advanced Information Infrastructure for Integrating Manufacturing Resources and Activities”, *Annals of the CIRP*,

Vol.46, No.1, (1997), pp.335-338.

- [2] 문덕희, 성재현, 조현일, “엔진블럭 가공라인 초기설계안 검증을 위한 시뮬레이션 연구”, 「한국시뮬레이션학회논문지」, 12권, 3호 (2003), pp41-53.
- [3] 장호림,,「디지털 매뉴팩처링 기법을 이용한 조선소 내 단위공장의 디지털 통합 모델」, 홍익대학교 대학원,기계공학과 석사학위논문, 2003.
- [4] Qiu, R.G. “Virtual Production Line Based WIP Control for Semiconductor Manufacturing System”, *International Journal of Production Economics* Vol.95 No.2 (2005), pp165-178.
- [5] 박정웅, “용접변형의 특성과 임계용접길이”, 「대한용접학회지」, 33권 4호(2003), pp1-3.