

## 자동차 공정 시뮬레이션의 3D 지그 키네마틱 정보 모델링을 위한 효율적 방법 연구

고민석\*, 곽종근\*, 조희원\*, 박창목\*\*, 왕지남\*\*\*, 박상철\*\*\*\*

### A Study of Efficient Method of 3D JIG Kinematic Modeling for Automobile Process Simulation

Min-Suk Ko\*, Jong-Geun Kwak\*, Hee-Won Jo\*, Chang Mok Park\*\*,  
Gi-Nam Wang\*\*\* and Sang-Cheul Park\*\*\*\*

#### ABSTRACT

Because of the fast changing car design and increasing facilities, manufacturing process of cars is getting more complex now a days. Particularly, car manufacturing system that consist of automated devices, applies various simulation techniques to validate device motion and detect collision. To cope with this problem, traditional manufacturing system deployed test-run with the real devices. However, increased computing power in a contemporary manufacturing system changes it into realistic 3D simulation environment. Similarly, managed device data that was generated using 2D traditionally, can be converted to 3D realistic simulation. The existing problem with 3D simulation is disjoint data interaction between different work stations. Consequently, JIGs, fixing the car part accurately, are changed according to fixing position on the part or a part shape properties. In practice, the 3D JIG data has to be managed according to kinematic information, but not of its features. However, generating kinematic information to the 3D model repeatedly according to frequent change in part is not explained in current literatures. To fill this knowledge gap, this paper suggests an improving method of rendering 3D JIG kinematics information to simulation model. Thereafter, it shows the result of implementation.

**Key words** : JIG, Fixture, 3D Model, Simulation, Kinematics

#### 1. 서 론

신규공장 건설 시 공정간의 불균형이 라인 효율에 얼마나 큰 손실을 초래할지 미리 시뮬레이션 해볼 수 있다면 설계 변경 및 개선을 통하여 상당한 생산성 향상을 거둘 수 있을 것이다<sup>1)</sup>. 일반적으로 공장이 완공된 후에는 레이아웃이나 공정의 변경이 불가능하거나 엄청난 비용과 시간이 소요되기 때문에 공장의 양산 적용 전까지 운영상의 문제점 들을 분석하고 적절한 대책을 수립하여 이를 최종설계에 반영하는 것이

매우 중요하다<sup>2)</sup>. 과거에는 공정의 논리적 모델을 시뮬레이션하는데에 초점을 두었지만 현대 제조 시스템은 공정 내 설비들의 물리적 현상을 시뮬레이션하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 특히 자동차 산업의 경우 생산 설비들의 변경이 자주 일어나는 대표적 제조산업인데, 공정을 구성하는 대다수 설비가 자동화 설비이기 때문에 3D 시뮬레이션의 활용이 많아 졌다<sup>3)</sup>. 자동차 산업이 점차 유연생산시스템(FMS: Flexible Manufacturing System)으로 진화함에 따라 라인을 공유하는 피트 빛 설비의 종류가 다양해 졌기 때문에 과거 보다 공정의 복잡도가 많이 증가하였다. 따라서 최단 기간 내에 공정의 설치 및 안정화를 이루고자 기업들은 설비를 3D 모델로 관리하고 시뮬레이션 하기 위해 다방면에 걸쳐 노력하고 있다<sup>4)</sup>.

과거에는 생산라인에 투입되는 설비를 각기 다른 환경에서 제작, 검토하여 생산라인에 설치, 시운전 하

\*학생회원, 아주대학교 산업공학과

\*\*비회원, 인덕대학 테크노경영과

\*\*\*비회원, 아주대학교 산업공학과

\*\*\*\*교신저자, 중신회원, 아주대학교 산업공학과

- 논문부고일: 2009. 05. 15

- 논문수정일: 2009. 08. 25

- 심사완료일: 2009. 10. 14

있기 때문에 검토된 환경과 실제 라인간, 설비들간의 오차로 인해 많은 경제적 손실이 발생하였다. 하지만 컴퓨터 성능의 향상에 따라 대다수 자동화 설비들이 3D 환경에서 모델링되고 검토되기 때문에 과거와 같은 손실을 줄일 수 있게 되었다. 특히 자동차 산업의 경우 로봇의 역할이 매우 큰 비중을 차지하기 때문에 가상환경 내의 로봇 작업장의 검토를 위한 OLP(Off-Line Programming)에 관한 연구가 많이 진행되었다<sup>6)</sup>. OLP 및 3D 시뮬레이션 환경이 자동차 산업에 파급됨에 따라 전자적으로 설비 및 पार्ट데이터가 3D 형식으로 관리되고 있지만, 개별 설비의 3D 모델을 만드는 데 필요한 경제적 부담으로 인해 영세 기업에서는 아직까지 잘 수행되지 못하고 있다.

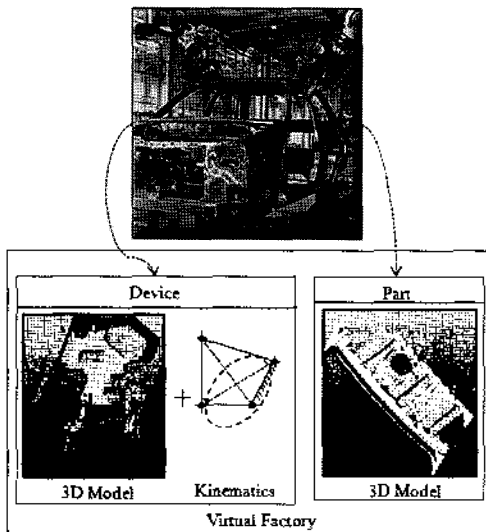


Fig. 1. The virtual factory environment for automobile manufacturing.

실제 제조 환경을 가상 제조환경으로 구축하기 위해서는 크게 3D 디바이스와 3D 파트 데이터가 필요하다(Fig. 1). 3D 디바이스란 로봇, 지그, 운반기 등 기구학적으로 움직이는 설비들을 말하는데, 이들이 실제와 같은 동작을 하기 위해서는 3D 형상과 함께 기구학적으로 정보가 반드시 필요하다. 반면 3D 파트 데이터는 가상환경의 제조대상이기 때문에 별도의 기구학 정보가 필요 없다. 자동차 산업의 경우 차체 및 설비 데이터가 3D로 관리되기 때문에 형상 수준은 크게 문제가 되지 않는다. 그러나 시뮬레이션 환경 구축하기 위해서 3D 형상에 기구학적 정보를 추가하는 부분은 시뮬레이션을 위한 부가적 작업이기 때문에 사람이 직접 수행해야 하는 어려움을 갖고 있다. 이 작

업은 작업자가 디바이스 형상 및 움직임을 고려해 기구학 정보를 추가해야 하기 때문에 가상 환경 구축 과정에서 가장 큰 시간을 소모하는 부분이다.

본 논문에서는 자동차 산업에서 가장 많이 쓰이는 자동화 설비인 지그의 3D 모델에 키네마틱 정보를 부여하는 과정을 보다 효율적으로 개선하기 위한 방법 및 구현 내용을 기술하였다. 3D 환경에서 검토되는 자동화 설비 중에서 종류 및 수가 가장 많은 것이 지그이기 때문에 본 논문에서는 이를 대상으로 구현하였다.

본 논문의 제 2장은 자동차 공정에서 지그의 역할 및 현업의 3D 지그 모델 작성 프로세스를 설명하고, 제 3장에서는 지그 키네마틱 구현을 위한 알고리즘 정의, 제 4장에서는 3D 지그 키네마틱 모델 구축 방법을 설명하며 제 5장에서 결론을 말할 것이다.

## 2. 자동차 공정의 지그 역할 및 3D 모델

자동차 산업이 부흥함에 따라 하나의 생산라인에서 여러 차종을 생산하는 다 차종 생산시스템이 보편화 되고 있다. 이에 따라 차체를 구성하는 파트의 종류가 다양해지고, 파트를 고정하는 지그 및 운반기의 종류가 다양해 지고 있다. 특히 자동차 공장의 지그 형상 디자인 및 제작에 투입되는 비용이 전체 제조 시스템 구축비용의 약 10-20%를 차지할 만큼 크게 작용한다<sup>12)</sup>.

지그의 주된 기능은 로봇 및 디바이스가 작업하기 전에 대상 파트를 정확하게 고정시켜주는 것이다. 따라서 파트 형상 모양에 따라 지그의 개수, 위치 및 모양이 다양하게 존재하며, 차체 형상이 변경되면 지그 특성이 재설계 되는 프로세스를 갖는다.

자동차 공정은 전체 공정(Line 단위) 및 세부 공정(Cell 단위)으로 나뉘 지는데, 라인 시작 부분에 투입된 차체 파트가 세부 공정을 흘러가면서 종료 부분에서 라인 단위 단 품이 완성된다. Body-Build 라인은 차체의 각 파트를 조립하여 중요 골격을 완성하는 조립 공정이다. 여기서 라인 Flow를 따라 차체를 운반시켜주는 역할을 하는 설비가 Fig. 2 운반기(Carriage)이다. 운반기는 그 자체 동력이 없이 흘러가는 역할만 할 뿐이고, 운반기 위에 배치되어 있는 지그(JIG: Fixture)가 세부 공정 작업에 앞서 파트를 올바르게 고정해주는 역할을 한다. 이때 지그의 형상 및 놓이는 위치는 파트 형상에 의해 결정되기 때문에 공정이 계획, 수정될 때마다 그 모습이 변경된다.

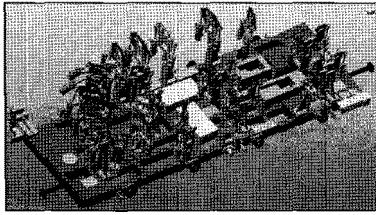


Fig. 2. The carriage in the automobile manufacturing.

Fig. 2에서도 알 수 있듯이 단일 운반기 위에 놓이는 지그의 수는 매우 많다. 국내 H 사의 Body-Build 라인 운반기에는 30~35개의 지그가 놓이는데, 각각의 지그는 PLC를 통해 신호를 받고 동작을 수행한다. 따라서 PLC 시뮬레이션<sup>14)</sup> 혹은 OLP 시뮬레이션을 위해서 3D 환경을 구성하고자 할 때, 지그의 형상 및 움직임을 구성하는 과정은 반드시 필요하다. 왜냐하면 PLC 시뮬레이션에서 PLC 신호에 따른 지그 및 운반기 동작의 검증<sup>15)</sup>과, OLP 시뮬레이션에서 로봇과 지그간의 인터락 체크(Interlock check) 및 간섭 검증(Collision validation)을 위해서는 지그 동작이 반드시 필요하기 때문이다.

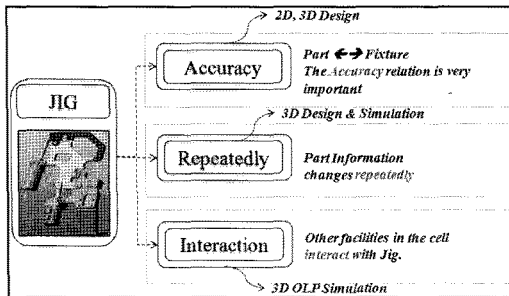


Fig. 3. Properties of 3D JIG model.

Fig. 3은 3D 지그 모델을 사용하는데 있어서 중요한 요소 및 특성을 정리한 것이다.

1) Accuracy

데이터로부터 지그의 용도 및 형상이 결정되면 3D 모델과 파트간의 간섭확인을 위해 모션 시뮬레이션을 수행한다. 이때, 지그 형상 설계 또는 위치 배치가 정확하게 맞지 않는 경우 설계를 다시 수행한다. 시뮬레이션을 통해 만족되는 3D 지그 형상이 결정되면, 지그의 2D 도면을 출력하여 제작에 들어간다.

2) Repeatedly

자동차 공정에 투입되는 차체의 종류는 매우 다양하고, 생산 초기 설계 시점에서 차체의 디자인 변경이 매우 잦게 일어난다. 따라서 차체 형상 변

경에 맞춰 지그의 3D 모델 검증도 반복적으로 일어난다. 이는 생산 초기 설계 과정에서 계획, 수정, 검토를 거쳐 최종 지그 제작에 이르기까지 반복된다.

3) Interaction

지그의 주된 역할은 셀 내의 작업 시작 전에 차체 파트를 고정시키는 것이다. 고정된 지그는 셀에 존재하는 여러 로봇 및 디바이스와 협업을 수행하는데, 이때 지그와 로봇(OLP) 또는 지그와 디바이스간 충돌 검증 시뮬레이션을 수행하여 지그의 위치 및 형상을 보장하는 과정을 거친다.

현업에서는 이 같은 3가지 특성 및 필요성으로 인하여 지그 데이터를 3D로 설계, 관리한다.

3. 지그 키네마틱 정의의 문제점

본 장에서는 지그 키네마틱 정의 과정을 보다 자세히 기술하고, 본 논문에서 다루고자 하는 문제의 범위를 정의한다.

3.1 3D 지그 3D모델 작성 프로세스

Fig. 4는 지그 3D 모델링 과정을 표현한 그림이다. step 1은 지그 단 품 파트를 2D로 모델링 하여 라이브러리에 등록시키는 과정이며, step 2에서 등록된 단 품을 모아서 3D 형상을 구성한다. 1단계와 2단계는 회사에서 규정하는 형상 표준에 따라 단품을 모델링하고 라이브러리를 구성하는 것이기 때문에 시간적 손실이 크지 않다. 하지만 3단계 3D 모델을 작성하는 부분은 정확화 되어있지 않다. 새롭게 작성되는 부분이기 때문에 공수적 손실이 매우 크다. 왜냐하면 2단계에서 조립된 3D 형상에 키네마틱 정보를 부여하는 부분이 전적으로 사람의 손에 달려있기 때문이다. 즉, 점, 선 면 및 솔리드로 구성되어 있는 3D 디자인에 링크, 축, 조인트 라는 기구학 정보를 추가 시키는 부

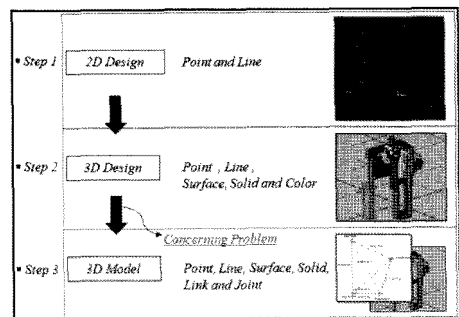


Fig. 4. The 3D JIG Modeling process.

분은 매 형상마다 새롭게 정의되어야 하는 필수적 과정이다. 하지만 아직 현업에서는 이를 개선할 수 있는 방안이 없어 작업자가 매번 반복적으로 작업을 하고 있다. 이는 경제적 손실 외에도 정신적 스트레스를 야기시키는 매우 비효율적인 작업이다. 따라서 본 논문에서 기존의 방법을 효율적으로 개선하기 위한 방안을 제시하고 구현함으로써 3D 지그모델의 키네마틱 정의를 위해 필요한 작업시간을 줄이고자 한다.

3.2 지그 키네마틱 정의 프로세스

Fig. 5는 3D 디자인으로부터 키네마틱 정보를 갖는 3D 모델을 작성하는 과정을 나타낸다. 3D 디자인은 형상 정보만을 가지고 있기 때문에 기구학적 정보가 더해져야 움직임을 갖는 3D 모델이 만들어 질 수 있다. 여기서 키네마틱 정보를 생성하는 과정은 1) 링크의 정의 2) 관심 점의 정의 3) 축 정의 4) 메커니즘 적용 5) 모션 정의 5단계로 나뉜다.

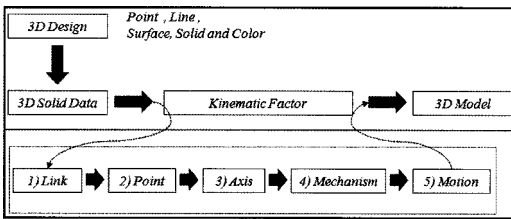


Fig. 5. 3D JIG model kinematic define process.

1) Define Link

기구학에서 링크(Link)란 매니퓰레이터(Manipulator)의 두 이웃하는 조인트 축 사이의 관계를 정의하는 강체라고 정의한다<sup>[13]</sup>. 솔리드들 중에서 기구학적으로 같은 범주에 속하는 솔리드 집합을 정의하여 링크를 정의한다. 일반적으로 이 과정은 상위 3D 디자인 어플리케이션 단계에서 계층관계 혹은 컬러를 통해 정의된다.

2) Define Concerning Point

메커니즘 정의 및 축 생성을 위한 관심 점 생성이 필요하다. 일반적으로 지그 형상과 작업자의 인지를 통해서 정의된다.

3) Define Axis

매니퓰레이터의 조인트를 정의하기 위해서는 2개의 링크와 1개의 축이 필요하다<sup>[13]</sup>. 따라서 지그 움직임을 위한 조인트를 만들기 위하여 두 개의 링크 사이에 존재하는 공통 축을 정의해야 한다.

4) Apply Mechanism

현업에서 사용하는 지그 동작의 메커니즘은 일반

적으로 Slider - Crank 메커니즘이다. 이는 기구학의 기본 메커니즘 중의 하나인데, 이를 조인트 적용 순서에 따라 R-P-R-R 형과 P-R-R-R 형으로 분류할 수 있다. 여기서 R(Rotational)은 조인트의 회전운동이며, P(Prismatic)는 직선 운동을 나타낸다.

5) Define Motion

지그는 일반적으로 Clamp(잠김) - Unclamp(열림) 두 단계의 움직임을 갖는다. 각 지그 별로 2단계 모션에 대한 조인트 값이 사전에 정의하여 모션을 정의한다.

이상의 다섯 단계는 현업에서 지그의 기구학적 정보를 정의하기 위해 사용하는 일반적 프로세스이다. 본 논문에서는 이 과정에 소요되는 시간 및 노력을 줄이고자 이 다섯 단계를 자동화 시키는 방법을 정의하고 구현하였다.

4. 지그 키네마틱 적용 알고리즘

본 논문에서는 Fig. 6의 R-P-R-R 형 지그를 예로 들어 알고리즘 및 적용 방법에 대하여 설명할 것이다.

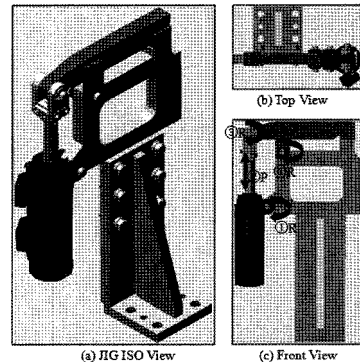


Fig. 6. The 3D JIG Model View.

Fig. 7은 일반적인 지그의 Clamp 및 Unclamp 모션을 나타낸 그림이다. (b) 모션에서 알 수 있듯이 실린더의 직선 운동 동력이 Clamp의 회전운동으로 전환되어 움직이는 것을 알 수 있다. 따라서 이 모션을 3D 상에서 구현하기 위해서는 Fig. 8의 Slider-Crank 메커니즘을 이용해야 한다. Slider-Crank 메커니즘은 직선운동을 회전운동으로 변환시켜 주기 위해 사용되는 기구학 개념이다. Fig. 8의 Guide frame이 지그 실린더의 직선운동을 나타내는데 여기서 생성된 동력이 Crankpin와 대응되는 Clamp의 회전운동으로 변환된다.

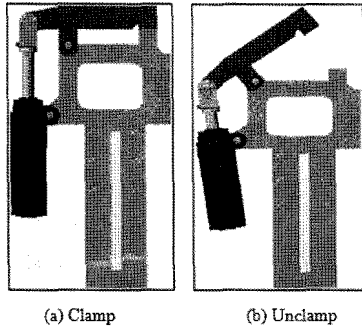


Fig. 7. Clamp and unclamp motion.

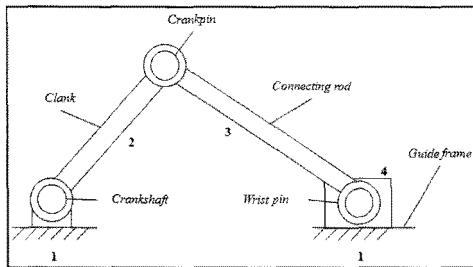


Fig. 8. The slider-crank mechanism.

4.1 키네마틱 정의 자동화 방법

본 논문에서 다루는 지그 키네마틱 정의 방법은 기존에 사람이 직접 정의하였던 Fig. 5의 다섯 단계를 자동화 시키는 것이다. 다섯 단계 중에 첫 번째 단계에 속하는 링크 정의 부분은 지그 3D 솔리드 모델이 Fig. 9와 같이 4개의 링크로 구분되어 있다고 가정한다. 즉, 분류된 3D 솔리드 모델 집합에 4가지 링크 이름을 부여한다. 현업에서는 지그를 3D로 디자인할 때 각 링크에 속하는 솔리드 위소들을 계층적으로 분류해 놓기 때문에 이를 가정하는 것은 합당하다 할 수 있다.

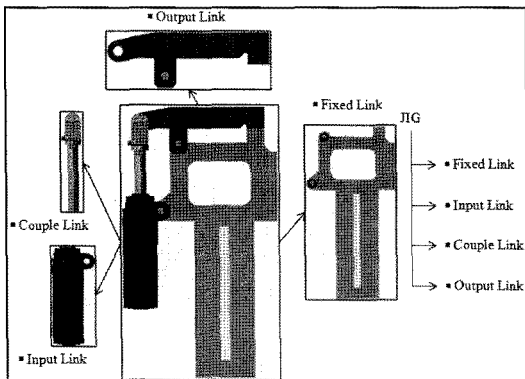


Fig. 9. Relation between 3D solids and links.

지그의 종류는 매우 다양하지만 현업에서 사용하는 구동 메커니즘은 R-P-R-R과 P-R-R-R 형에 한정되어 있기 때문에 키네마틱 적용 알고리즘을 자동화 시킬 수 있다.

4.2 관심 점 및 축 정의의 자동화.

Fig. 5의 다섯 단계 중에 두 번째 단계는 키네마틱 정의를 위해 관심 점을 찾는 과정이고, 세 번째 단계는 이 점들을 토대로 조인트 축을 생성하는 부분이다. 이 두 단계를 자동화 시키기 위해서는 점 세 개를 찾아야 하는데 각 점은 조인트의 축이 존재하는 곳으로 Fig. 11에 표기된 위치이다.

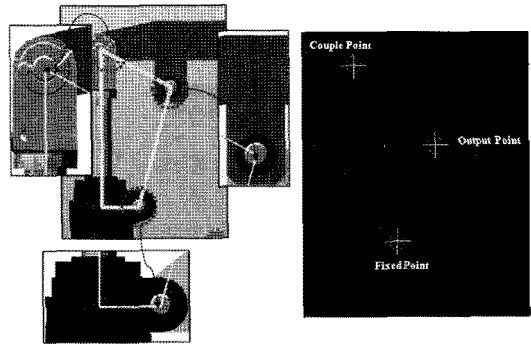


Fig. 10. Define concerning points.

Fig. 10의 3개 점은 Front View에 있는 3D 홀 (Hole) 중에서 링크간에 공통으로 존재하는 홀을 추출한 것이다. 즉, 링크가 갖고 있는 홀의 중심들 중에서 두 개 이상의 링크가 공유하는 홀을 선택하는 방법이다. 각 점에 대한 기구학적 의미는 다음과 같다.

1) Couple Point

Couple Link와 Output Link 사이의 연결 부위에 존재하는 공통 홀의 중심 좌표를 나타낸다.

2) Output Point

Output Link와 Fixed Link 사이의 연결 부위에 존재하는 공통 홀의 중심 좌표를 나타낸다.

3) Fixed Point

Input Link와 Fixed Link 사이의 연결 부위에 존재하는 공통 홀의 중심 좌표를 나타낸다.

추출된 3개의 점을 이용하여 Fig. 11과 같이 3개의 회전 조인트 축을 생성할 수 있다. 생성된 조인트 축은 두 개의 링크가 공통으로 갖는 홀의 중심에 놓이는 방향 벡터이다. 따라서 축의 끝점은 시작 점으로부터 벡터 방향으로 일정 크기 이상 떨어진 점으로 결정된다.

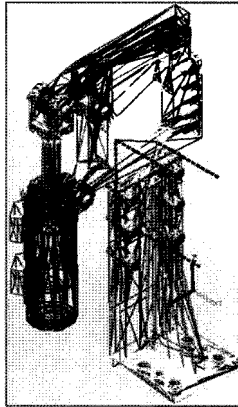


Fig. 11. Generation of 3 rotational axes.

4.3 메커니즘 점의 자동화

자동차 공정의 지그는 실린더의 팽압을 이용하여 Clamp를 열고 닫는다. 힘을 생성하는 실린더의 운동은 직선 운동이지만 파트를 잡는 Clamp는 회전운동이다. 따라서 직선운동을 회전운동으로 변환시키기 위해 Fig. 8의 Slider Crank 메커니즘을 이용해야 한다. 하지만 지그 구조적 특성상 메커니즘을 그대로 이용할 수는 없기 때문에, 지그 구조 및 움직임을 고려하여 응용된 메커니즘을 적용해야 한다.

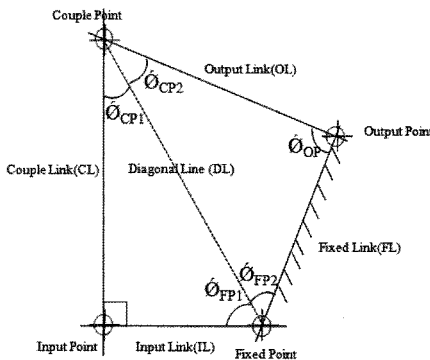


Fig. 12. R-P-R-R mechanism.

Fig. 12는 Fig. 7 지그에 적용하기 위해 응용된 R-P-R-R Slider Crank 메커니즘이다. 여기서 R과 P의

순서는 조인트의 회전 및 직선운동의 순서를 나타내며 각 조인트의 특성을 표로 정리하면 Table 1과 같다.

예를 들어 Fixed Joint는 Fixed Link를 기준으로 Input Link가 Fixed Axis를 기준으로 회전운동(R)을 한다. 그리고 마지막 Output Joint는 하위 링크가 없으므로, 나머지 세 개의 조인트 각도를 사각형 내각의 합인 360도에서 뺀 나머지 값으로 정한다. 이렇게 만들어진 Link간 계층관계는 구현이 용이한 트리 구조로 나타낼 수 있다.

Step 1) 점 좌표 3개가 입력된다.
Step 2) Input Point의 좌표가 결정된다.
Step 3) DL의 길이를 구한다. $DL = \sqrt{(CL^2 + IL^2)}$
Step 4) $\theta_{CP1}$ 각을 계산한다. $\theta_{CP1} = \arccos(DL/CL)$
Step 5) $\theta_{FP1}$ 각을 계산한다. $\theta_{FP1} = 90 - \theta_{CP1}$
Step 6) DL, OL, FL을 이용하여 $\theta_{CP2}$ 각을 계산한다.
Step 7) DL, OL, FL을 이용하여 $\theta_{FP2}$ 각을 계산한다.
Step 8) $\theta_{OP}$ 각을 계산한다. $\theta_{OP} = 270 - \theta_{CP1} + \theta_{CP2} + \theta_{FP1} + \theta_{FP2}$

Fig. 13. The procedure of calculating R-P-R-R mechanism.

Fig. 13은 R-P-R-R 메커니즘 구현을 위해 네 개의 각도를 계산하는 절차를 정리한 것이다. 이를 간단히 설명하면 아래와 같다.

Step 1) 메커니즘의 초기 입력요소는 Fig. 10에 제시된 3개의 점 Couple point(CP), Output point(OP) 그리고 Fixed point(FP)이다. 이 점들은 Link 간에 존재하는 공동 홀을 검색하여 생성된 점으로써, 화면에 수직인 방향으로 각 조인트의 축이 생성되는 좌표이다.

Step 2) R-P-R-R 메커니즘은 Input Link와 Couple Link가 서로 직교해야 한다는 제약 조건을 갖는다. 이 조건을 이용하면 Fig. 12의 Input Point(IP)의 좌표를 얻을 수 있다. 이 과정을 이용해 CL의 길이 변화에 따른 IP 좌표를 계산할 수 있다.

Step 3) CP와 FP를 잇는 대각선인 Diagonal

Table 1. Joint properties of R-P-R-R mechanism

#	R/P	Joint	Parent Link	Child Link	Axis
1	R	Fixed Joint	Fixed Link	Input Link	Fixed Axis
2	P	Input Joint	Input Link	Couple Link	Input Axis
3	R	Couple Joint	Couple Link	Output Link	Couple Axis
4	R	Output Joint	Output Link	Dummy	Output Axis

Line(DL)의 길이를 계산한다. DL을 기준으로 사각형은 왼쪽과 오른쪽의 두 개의 삼각형으로 분리된다.

Step 4) CL과 DL의 코사인 값을 이용하여 CP의 부분각인  $\hat{O}_{CP1}$ 를 계산할 수 있다.

Step 5) DL 좌측의 삼각형은 직각 삼각형이기 때문에 90도에서  $\hat{O}_{CP1}$ 를 빼면 FP의 부분각인  $\hat{O}_{FP1}$ 를 얻을 수 있다.

Step 6) DL, OL, FL 세 변의 길이가 주어지 있기 때문에 아래 식 (1)을 이용하여  $\hat{O}_{CP2}$  각을 계산할 수 있다.

$$\hat{O}_{CP2} = \arccos\left(\frac{PL^2 - OL^2 - DL^2}{2 \times DL^2}\right) \quad (1)$$

Step 7) Step. 6과 같은 식으로. DL, OL, FL 세 변의 길이가 주어지 있기 때문에 아래 식 (2)을 이용하여  $\hat{O}_{FP2}$  각을 계산할 수 있다.

$$\hat{O}_{FP2} = \arccos\left(\frac{OL^2 - DL^2 - FL^2}{2 \times FL^2}\right) \quad (2)$$

Step 8) 사각형 내부의 총합이 360도이므로 Step. 7까지 계산된 3개의 각도를 제외한 나머지  $\hat{O}_{CP}$  각은 아래 식 (3)을 통해 계산될 수 있다.

$$\hat{O}_{CP} = 270 - \hat{O}_{CP1} + \hat{O}_{CP2} + \hat{O}_{FP1} + \hat{O}_{FP2} \quad (3)$$

이상의 과정을 통해 변화하는 CL 값에 대한 네 개의 각도를 자동으로 계산하는 메커니즘을 완성하였다.

#### 4.4 모션 정의의 자동화.

3D 시뮬레이션 상에서 지그 모델을 이용하기 위해서는 모션 정의가 반드시 필요하다. 현장에서 사용하는 지그의 모션은 Clamp - Unclamp로 구성되어 있으며, 각 각도의 값은 사전에 정의되어 있다. 따라서 각 모션에 해당하는 입력 각도를 부여함으로써 모션이 자동으로 생성될 수 있다.

### 5. 지그 키네마틱 정보의 자동화 구현

본 논문에서 제안하는 알고리즘 및 방법론을 바탕으로 아주대학교 디지털 통합 제조 연구실에서는 “지그 키네마틱 정보의 자동화 보물”을 PLCStudio 상에 구현하였다. PLCStudio는 실제와 같은 수준의 정보를 갖는 그래픽 모델 및 PLC I/O 모델을 이용하여 제어 코드를 검증하는 가상 생산 시뮬레이터이다<sup>11)</sup>. 본 논문의 키네마틱 자동생성 기능을 이용해 단일 지그 3D 모델을 만드는 데 불필요한 작업을 제거함으로써 그래

픽 시뮬레이션 환경 구현의 경제성을 높일 수 있었다.

Fig. 14는 R-P-R-R 매커니즘을 적용시킨 지그의 Clamp와 Unclamp 모션을 나타낸다. 그림 좌측에 그려진 실선은 Fig. 12의 R-P-R-R 매커니즘의 가시화를 위해 표시된 것이다. Fig. 15는 PLCStudio 상에 본 논문의 내용을 구현한 결과를 나타내는데, 좌측은 매커니즘을 통해 만들어진 조인트들의 계층관계를, 중앙은 3D 모델 그리고 우측은 지그 움직임을 위한 UI 창을 나타낸다.

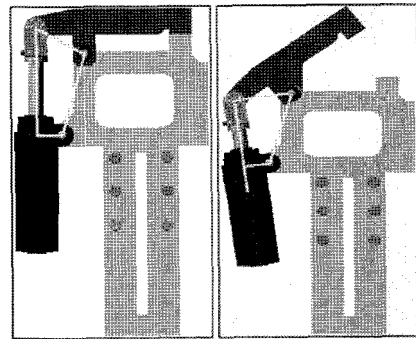


Fig. 14. Apply R-P-R-R mechanism to 3D JIG model.

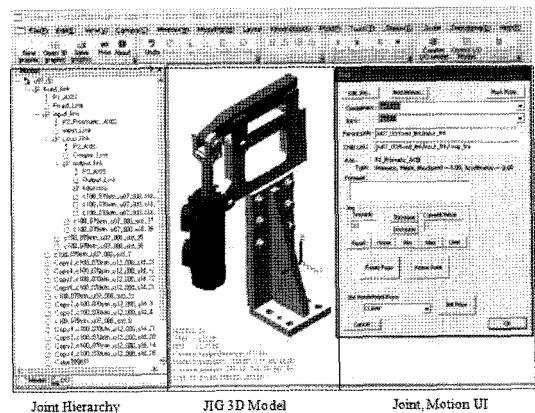


Fig. 15. Implementation of JIG kinematic auto generation.

### 6. 결 론

이 논문에서는 지그의 3D 시뮬레이션 환경을 구축할 때 가장 많은 시간이 소요되는 키네마틱 정보 입력 과정을 자동화시키기 위한 방법 및 구현 내용을 설명하였다. 자동차 생산 공장에서 파트를 고정시키기 위한 치구로 사용되는 지그의 형상은 파트 형상에 의존하여 디자인된다. 따라서 차체 디자인이 변경될 때 마다 지그 형상 디자인 및 키네마틱 정보는 반복적으로

만들어 진다. 지그의 3D 디자인은 라이브러리화 된 데이터를 통해서 비교적 쉽게 수급될 수 있지만, 3D 모델에 입력되는 키네마틱 정보는 작업자가 매번 정의해야 한다. 이 같은 비효율적 반복 작업을 줄이고자 본 논문에서는 지그 키네마틱 정보 입력 과정을 자동화시키는 연구 및 구현 과정을 보였다.

하지만 본 연구의 키네마틱 정보 자동 생성의 대상을 자동차 조립라인에 사용되는 전체 지그를 적용 대상으로 보지 않았다. 왜냐하면 약 350가지의 패널의 조립은 각각의 다양한 지그들이 필요하게 되는데 일반적으로 자동화를 적용하기 대단히 어렵기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 일반적으로 구현이 가능한 Pin이 없는 1단 형 RPRR형 지그에 대한 키네마틱 정보 자동생성에 대한 고찰과 구현을 주된 연구 대상으로 하였다. 자동차 공정에서 사용되는 지그 설계에 대한 구조적 분석을 통해 X, Y 축을 규제하는 Locator 및 Z 축을 규제하는 Pin에 대한 변수들을 고려하여 일반화된 지그 키네마틱 모델링을 위한 템플릿 보드의 연구 및 구현을 향후 연구 과제로 계획하였다.

본 연구 내용은 현업의 업무 프로세스를 바탕으로 만들어진 과정이며, 실제 프로젝트에 적용하여 획기적인 경제적 이득을 얻을 수 있었다. 이러한 접근 방법은 3D 시뮬레이션의 역할이 증대되는 지금 시점에서 3D 모델 생성 효율화를 향상시키는데 기여할 것이라 사료된다. 또한 향후 본 연구를 기반으로 자동차 생산라인의 3D 모델 생성 효율화 연구를 지속적으로 수행할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국방부 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다(UD080042AD). 관계자 여러분께 감사 드립니다.

## 참고문헌

- Oh, P. B., Rim, S. C. and Han, H. S., "Improved Design of Engine Manufacturing Line Using Simulation", 한국 시뮬레이션 학회지, Vol. 1, No. 9, pp. 1-9, 2000.
- Bennett, P. B., Fox, L. and Schrage, L. E., "A Guide to Simulation", Second Ed., Springer Verlag, 1987.
- Law, A. N., "Introduction to Simulation: A Powerful Tool for Analyzing Complex Manufacturing Systems", *Industrial Engineering*, Vol. 18, No. 5, pp. 46-88, 1986.
- Moon, D. H., Cho, H. S., Sung, H. and Jung, J. Y., "A Case study of the Body Shop Design in an Automotive Factory using 3D Simulation", *International Journal of Production Research*, Vol. 44, Nos. 18-19, pp. 4121-4135, 2006.
- Noh, S. D. and Park, Y. J., "Material Planning Information Management for Automotive General Assembly using Digital Factory", *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, Vol. 9, No. 4, pp. 325-333, 2004.
- Lee, S. C., Song, I. H. and Borm, J. H., "An Accurate and Efficient Method of the Spray Paint Simulation for Robot OLP", *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, Vol. 13, No. 4, pp. 296-304, 2008.
- Lee, S. J., Lee, S. H. and Park, J. K., "Development of Automation Program Module for OLP based Industrial Robot Simulation", *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 18, No. 1, pp. 13-21, 2009.
- Leslie, B., "The Development of Software to Assist in Off-line Programming for Robotic Fetting of Cast Components", *Industrial Robot J.*, Vol. 25, No. 4, pp. 282-287, 1998.
- Park, S. C., Park, C. M. and Wang, G. N., "A PLC Programming Environment based on a Virtual Plant", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 39, No. 11-12, pp. 1262-1270, 2008.
- Park, C. M., "Development of Virtual Simulator for Visual Validation of PLC Program", *International Conference on Computational Intelligence for Modeling Control and Automation*, pp. 32-36, 2006.
- Park, C. M., Seong, K. Y., Park, S. C., Wang, G. N. and Han, K. H., "Simulation based Control Program Verification in an Automobile Industry", *The International Conference on Modeling, Identification and Control*, Innsbruck, Austria, 2008.
- Bi, Z. M. and W. J. Zang, "Flexible Fixture Design and Automation: Review, Issues and Future Directions", *International Journal of Production Research*, Vol. 39, No. 13, pp. 2867-2894, 2001.
- John J. Craig, "Introduction to Robotics Mechanics and Control", Third Ed., Peason, 2005.





**고 민 석**

2006년~현재 아주대학교 산업공학부 석·박사 통합과정  
 2003년~2006년 아주대학교 산업정보시스템 공학부 학사  
 연구분야: CAD/CAM, PLC, 시뮬레이션, 이산사건모델링



**곽 종 근**

1989년 포항공대 전자계산학과 학사  
 1994년 포항공대 컴퓨터공학부 석사  
 2007년~ 아주대학교 산업공학과 대학원 박사 과정  
 연구분야: Computer science, FMS, Factory Automation, Simulation, Image Processing



**조 희 원**

1997년 홍주대학교 기계설계학과 학사  
 2009년 아주대학교 산업공학과 대학원 석사과정  
 연구분야: 제조 공정 simulation, robot simulation, CAD/CAM



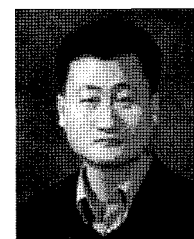
**박 창 목**

1996년 아주대학교 산업공학과 학사  
 1998년 아주대학교 산업공학과 석사  
 2002년 아주대학교 산업공학과 박사  
 2000년 2월~2002년 7월 마르에니 선임연구원  
 2003년 1월~2005년 9월 시식시스템 선임컨설턴트  
 2005년 9월~2009년 2월 아주대학교 연구교수  
 2007년 5월~2009년 2월 유니엠텍 대표이사  
 2009년 2월~현재 인덕대학 전임강사  
 관심분야: 생산최적화, 생산자동감시제어, 시뮬레이션



**왕 지 남**

1987년 3월~1992년 12월 미 Texas A&M 대학 산업공학과  
 1983년 3월~1985년 2월 한국과학기술원 산업공학과  
 1979년 3월~1983년 2월 아주대학교 공과대학 산업공학과  
 1984년 12월~1987년 8월 현대전자(주) 연구원(Dept. of Production Information Control Systems)  
 1992년 12월~1993년 5월 미 Texas A&M University 연구원  
 1993년 9월~1997년 8월 현재 아주대학교 산업정보시스템공학부 교수  
 2000년 9월~2001년 8월 University of Texas at Austin Visiting Professor  
 연구분야: 자동감시제어, 신경망, PLC, 시뮬레이션, 이산사건 모델링



**박 상 철**

Ph.D. (2000) in Industrial Engineering, Dept of I.E., KAIST, Korea  
 B.S. (1994) in Industrial Engineering, Dept of I.E., KAIST, Korea  
 M.S. (1996) in Industrial Engineering, Dept of I.E., KAIST, Korea  
 2000년 9월~2001년 12월 큐빅테크, 선임연구원  
 2002월 1년~2004년 2월 DaimlerChrysler IEM Dept. Research Engineer  
 2008년 2월~현재 아주대학교 산업정보시스템 공학부, 부교수  
 2005년 1월~현재 Computer-Aided Design and Applications  
 2005년 9월~현재 EJIT(Entru Journal of Information Technology)  
 2007년 2월~2009년 1월 31일 한국 CAD/CAM 학회 편집위원  
 연구분야: CAD/CAM, 시뮬레이션, PLC, 이산사건 모델링