

스폿용접 로봇용 스위블 유닛의 개발

김용석*, 박성호⁺, 양순용⁺⁺

(논문접수일 2008. 3. 18, 심사완료일 2008. 7. 15)

The Development of Swivel Unit for Spot Welding Robots

Yong-Seok Kim*, Sung-Ho Park⁺, Soon-Young Yang⁺⁺

Abstract

A new type of swivel unit is suggested in order to complement weak points of the existing. This new type of Swivel unit is developed by adopting a spring type cable which has elasticity and restoring force. To minimize the troubles in the process of manufacturing during operating the new type system, strength analysis and the check of interference between parts are accomplished with CATIA. The check of rotating performance is also carried out to determine the diameter and length of spring type cable by SimDesigner motion analysis. Swivel unit used in the robot spot welding is developed with spring type cable and its usefulness in the industrial field is verified through experiments. This system has been registered for patent.

Key Words : swivel unit(스위블유닛), spot weld robot(스폿용접로봇), welding robot(용접로봇), industrial robot(산업로봇)

1. 서론

산업용 로봇의 등장으로 인간은 생산성 향상을 통한 물질적 풍요함과 더불어 안락한 삶을 향유하게 되었다. 또한 인간이 할 수 없는 극한 상황으로까지 작업공간이 확대됨은 물론 생산 공정에서는 인간이 없는 무인공장이 나타나 빠르고 정확한 일련의 공정이 이루어지고 있다.

산업용 로봇의 세계시장은 2005년에는 53억 3천만 달러

에서 연평균 6.9%씩 증가하여 2010년에는 74억 4천만 달러를 기록할 것으로 전망되고 있으며, 2020년경에는 133억 2천4백만 달러를 기록하여 2010~2020년 기간 동안 연평균 6.0%씩 증가할 것으로 전망하고 있다. 또한 2010년 까지는 유럽, 일본이 세계시장의 60%를 점유할 것으로 전망되고 있으나, 이 후에는 다소 감소될 것으로 보고 있다. 반면에 선진의 감소시장을 중국, 인도 등 신흥발전국가들이 차지할 것으로 전망하고 있다. 한국은 2005년 세계시장 대비 9.9%수준

* 울산대학교 대학원 기계자동차공학과

+ 경일대학교 기계자동차학부

++ 교신저자, 울산대학교 기계자동차공학과 (soonyy@mail.ulsan.ac.kr)

주소: 680-749 울산광역시 남구 무거2동 산29

에서 2020년경에는 14.5%까지 증가할 것으로 전망되고 있다⁽¹⁾. 이와 같이 산업용로봇시장은 꾸준한 성장과 안정된 시장이 지속될 것으로 보인다.

산업용 로봇의 적용분야 별 비중을 보면 용접분야가 전체 산업용 로봇의 42.2%를 차지하고 있으며, 특히 자동차 산업의 자동 조립공정에 적용하는 로봇의 경우 90%정도가 스폿 용접 로봇이다⁽²⁾. 자동차 조립공정에 사용되는 대부분의 로봇에서는 로봇 암 끝단의 톨에 각종 신호와, 압축공기, 냉각수를 공급하기 위한 케이블을 로봇의 내부가 아니라 로봇 외부에 부가적으로 장착하여 사용하고 있다.

이러한 케이블들은 로봇 작동 시 간섭이나 꼬임 등을 유발하여 로봇의 작동을 제한하는 등 문제점을 가지고 있다. 또한 케이블들이 외부에 장착된 형태이므로 외부의 다른 장치들과의 접촉에 의한 마모가 발생하여 장기간 사용하게 되면 케이블이 끊어지는 문제점도 가지고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 로봇 암의 끝단에 장착하여 로봇의 끝단축이 회전하여도 각종 신호 및 압축공기, 냉각수 케이블들이 회전하지 않으면서도 매체를 전달 할 수 있는 장치를 스윙블 유닛(swivel unit)이라 한다⁽³⁾.

스폿용접 로봇에 사용되는 스윙블 유닛의 경우 국내 기술은 매우 취약하여 실수요의 전량을 수입에 의존하고 있다. 현재 공급되고 있는 스윙블 유닛은 기계적인 구조로 회전체 내부에 관로를 가공하여 유체(냉각수, 압축공기) 및 전기적 신호를 전달하는 방식이다. 이것은 내부적으로 매우 복잡한 구조이며 가공 및 제조가 어렵고 고가이다.

현재 적용되고 있는 스윙블 유닛의 대표적인 예는 Fig. 1과 같다.

본 연구에서는 기존의 스윙블 유닛에 있어서 단점을 개선하기 위한 방법으로, 기계적 가공에 의한 배관구조의 전달구

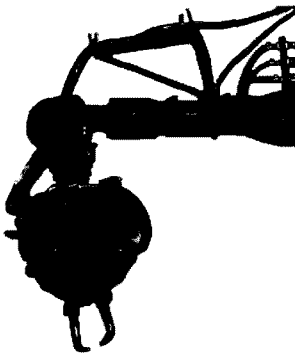


Fig. 1 Example of the existing swivel unit

조가 아닌, 유연성이 있는 플라스틱 소재로 만든 케이블의 복원력과 신축성을 이용한 보다 단순한 구조의 스윙블 유닛을 개발하고자 한다. 개발품의 구조는 단순하고 제작이 용이하여 제작비용도 획기적으로 낮출 수 있고 유지보수가 간편하다. 그리고 기존 스윙블 유닛의 가장 큰 단점의 하나인 유체전달 관로의 파손으로 인한 잦은 누출현상을 방지할 수 있는 장점이 있다.

2. 스윙블 유닛의 설계 및 모델링

2.1 개념설계

본 연구에서 제안하는 스프링형 케이블을 적용한 스윙블 유닛은 기존의 면 접촉 전달방식의 스윙블 유닛을 대체할 수 있을 뿐만 아니라 케이블의 꼬임으로 인한 작동범위가 제한되는 문제점해결이 가능하고 외부장치들과 케이블의 마찰로 인한 마모를 줄일 수 있도록 하였다. 또한 부가적으로 복원력과 접촉 및 마모에 대한 내구성을 갖는 케이블을 개발할 경우 기존 산업용 로봇뿐만 아니라 각종 회전체에 있어서 신호 및 압축공기, 냉각수 등의 전달매체로 기계장치에 폭넓게 적용할 수 있도록 고안하였다.

개발을 위한 스윙블 유닛의 개념도는 Fig. 2와 같다.

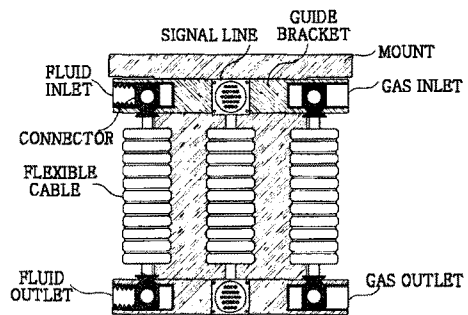


Fig. 2 Schematic diagram of swivel unit

2.2 스윙블 유닛의 모델링

신본 연구에 있어서 스윙블 유닛의 설계 기준은 기존유닛의 설치 공간을 고려하였다. 개발되는 유닛은 기존의 유닛이 설치되었던 공간을 이용하게 되므로 호환성 유지를 위해서는 중요한 고려사항이다.

작업의 효율성과 수정작업에 대한 신속한 대처를 위하여 3D CAD 소프트웨어를 이용하였으며, 단품의 조립과 조립 완성품의 장착설치에 대한 시뮬레이션을 실시하였다.

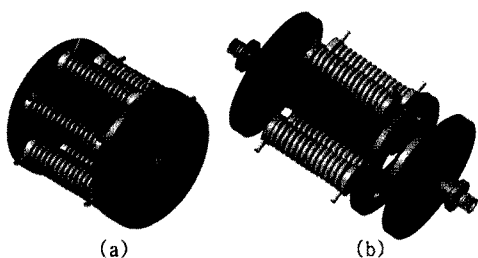


Fig. 3 Assembly and disassembly of swivel unit

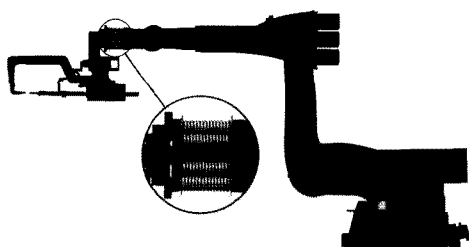


Fig. 4 Mounting position and state of swivel Unit

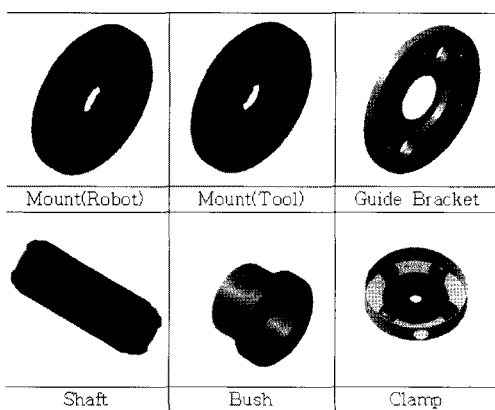


Fig. 5 Parts list and shape of swivel unit for manufacturing

스위블 유닛의 구성부품 중 가장 취약할 것으로 예상되는 축의 양 끝단 요철부에 대한 안전성 검토를 위해 강도해석을 실시하였다.

3D CAD 모델링을 위한 소프트웨어는 CATIA V5를 이용하였다. 또한 CATIA V5의 가상조립기능을 이용하여 가상공간에서 부품들을 조립하였으며, 부품들 간의 간섭과 작동상태 등을 DMU(Digital Mock-Up)기능을 이용하여 확인

Table 1 Function and specification of Swivel unit parts 단위 (mm)

Parts	Function and Specification
Mount (Robot side)	<ul style="list-style-type: none"> Function for positioning and fixing between robot's arm and swivel unit. Thickness:20, Diameter:Φ200, Material: Steel (ASTM-A36)
Mount (Tool side)	<ul style="list-style-type: none"> Function for positioning and fixing between tool and swivel unit. Thickness:20, Diameter:Φ200, Material: Steel (ASTM-A36)
Shaft	<ul style="list-style-type: none"> Function for connection between mount of robot side and tool side. Bearing is assembled, support of guide bracket's turning, and end groove for sliding prevention. Heat treatment:quenching, Diameter:Φ 60, Length:169.5, Fitting tolerance:Φ 55-k6
Guide bracket	<ul style="list-style-type: none"> Function for fixing of cable and bearing. Rotational angle of tool increases. Function for shock- absorbing of cable. Thickness:12, Diameter:Φ200, Bearing fitting gap:φ90-M6
Bush	<ul style="list-style-type: none"> To raise fixing force between mount and shaft(quenching). Thickness of mount will be thick without bush.
Cable	<ul style="list-style-type: none"> Cable for signal(Electric signal cable) or hose for fluid(air hose, cooling water). The spring type have softness and elasticity. Diameter:Φ60, Length:150
Clamp	<ul style="list-style-type: none"> Function for position adjustment of cable and hose. Fixing position-mount and guide bracket
Bearing	<ul style="list-style-type: none"> Thickness:11, Out. Dia.:Φ90, In. Dia.: Φ55, Shaft tolerance:Φ55-k6, Housing tolerance:Φ90-M6, Type:FAG Deep home ball bearing(2ZR)-Standard No: FAG 16011

하였다⁽⁴⁾. 스위블 유닛의 모델링한 결과를 바탕으로 조립된 상태는 Fig. 3 (a)와 같고, 분해된 상태는 Fig. 3 (b)와 같다. 산업용 스폿용접 로봇에 개발된 스위블 유닛의 적용 위치와 설치된 상태를 나타내면 Fig. 4와 같다.

개발한 스위블 유닛의 가공을 위한 단품들의 구조와 명칭을 Fig. 5에 나타내었고, 구성단품의 상세한 기능과 사양은 Table 1에 나타내었다.

3. 컴퓨터 시뮬레이션 및 고찰

3.1 회전각 시뮬레이션

스위블 유닛 구성부품 중 핵심이 되는 스프링형 케이블의 직경과 길이를 결정하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션에 있어서 전처리과정은 CATIA V5와 Interface한 MSC사의 SimDesigner motion analysis⁽⁵⁾을 이용하여 수행하였고, 후처리과정은 ADAMS PostProcess⁽⁶⁾에서 수행하였다.

스위블 유닛의 회전가능 각도를 케이블의 외경 크기에 따라 시뮬레이션 한 결과는 Fig. 6과 같다.

스위블 유닛의 최대 목적은 회전각을 크게 하는 것이며,

회전가능각도는 작업의 범위와 능률에 관계된다. 이러한 회전가능 각도는 스프링형 케이블의 직경과 관계가 있다.

스위블 유닛의 지나친 회전각의 증가는 케이블에 간섭을 주어 작동이 불가해 질 수도 있다. 따라서 스프링형 케이블은 스위블 유닛의 회전각도 증가에 따라 어떠한 간섭도 받지 않아야 하고, 또한 케이블과 케이블과의 간섭도 일어나지 않아야 하며, 자연스러운 신장과 복원이 이루어져야 한다. 이러한 조건을 고려한 시뮬레이션의 결과는 Table 2와 같다.

시뮬레이션 결과로부터 스프링형 케이블의 직경이 45mm 일 때 회전가능각도는 93.3°이며, 이 각도는 가이드 브라켓이 고정된 상태에서 케이블의 신축만으로 회전 가능한 각도이다. 여기에 가이드 브라켓의 회전가능각도 360°를 고려하면 453.3°까지 회전이 가능하게 됨을 시뮬레이션 상으로 확인하였다. 이 각은 기존 유닛의 400°보다 큰 값이다.

3.2 축의 강도해석

스위블 유닛의 구성부품 중 취약부로 예상되는 축 양단의 요철부에 대한 강도해석을 실시하였다.

강도해석의 전처리과정을 위한 형상 모델은 2.2에서 실시한바 있다. 해석은 CATIA V5와 Interface한 MSC사의 SimDesigner Linear analysis를 이용하여 수행하였다⁽⁷⁾.

해석 수행에 있어서 부하하중은 4개의 요철부에 각각 균일하게 작용하는 것으로 가정하였다. 모델형상과 가한 하중을 도시하면 Fig. 7과 같고, 해석 파라미터는 Table 3과 같다.

스위블 유닛 축의 요철부에 대한 강도해석결과는 Fig. 8과 같다.

Fig. 8 (a)는 받은 하중에 대한 샤프트 요철부의 변형상태를 도시한 것이다. 변형은 외부에서 보다는 내부에서 심하게 일어남을 볼 수 있고, 파괴가 일어난다면 외부에서 보다는 내부에서 일어남을 나타낸다.

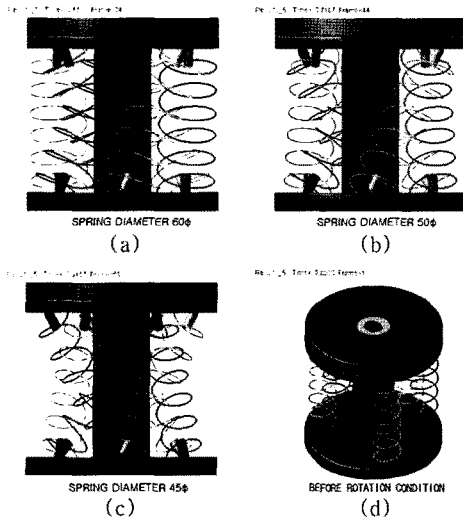


Fig. 6 Rotation angle of swivel unit according to outer diameter of spring type cable

Table 2 Simulation results of rotation angle of swivel unit

Spring Cable Diameter	Rotation Angle
Fig. 6 (a)	φ60 56.7°
Fig. 6 (b)	φ50 73.3°
Fig. 6 (c)	φ45 93.3°

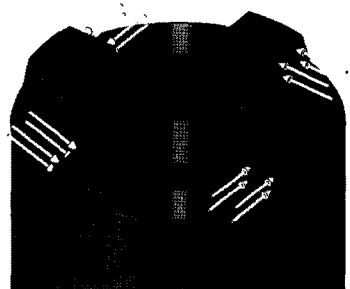


Fig. 7 Shaft geometry for strength analysis

Fig. 8 (b)는 변형에 대한 변위를 도시한 것이다. 최대변위는 샤프트 요철부의 안쪽 위의 모서리부로 5.87e-008mm이다. 이 값은 온도변화에 의한 팽창변위 보다 아주 작은 값을 알 수 있다.

Fig. 8 (c), (d)는 각각 폰-미세서 응력(Von Mises stress) 과 주응력(Principal stress)을 도시한 것이다. 두 경우에 대하여 응력이 가장 크게 발생하는 부분은 축 돌출부 외부의 하단 모서리부분임을 알 수 있고, 그 크기는 각각 1.63e +003[N/m²]와 1.41e +003[N/m²]임을 알 수 있다. 두 값을

Table 3 Parameters for strength analysis

Parameter	Value
Material	Structural Steel (ASTM-A36)
Young Modulus	200GPa
Poisson Ratio	0.266
Density	7860[kg/m ³]
Coefficient of Thermal Expansion	1.17×10 ⁻⁵ [mm/m.°C]
Yield Strength	250MPa
Working Force (For analysis)	400[kgf](3,922[N])
Number of nodes	31,301
Number of elements	147,361
Force style	Uniform Distribution

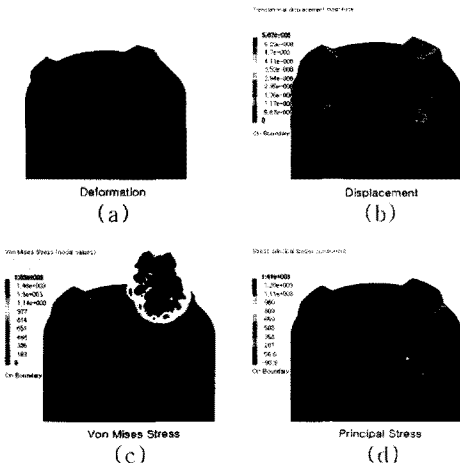


Fig. 8 Results of strength analysis for swivel unit shaft

비교하여 폰-미세서 응력에 근거한 파단에 대한 안전성을 고려하면 전달하중에 대해 극히 안전함을 보여주고 있다⁽⁸⁾.

4. 시제품의 제작 및 적용

4.1 시제품의 제작

스위블 유닛의 시제품을 위해 축과 부시는 열처리를 실시 하였으며, 베어링과 축의 조립은 냉각 박음을 하였다. 그리고 베어링과 가이드 브라켓의 조립은 가이드 브라켓을 가열 하여 열 박음을 하였다. 스프링형 케이블의 제작은 일반적으로 사용되는 신호용 케이블과 호스를 이용하였다. 성능이 우수한 전용 케이블의 제작을 위해서는 많은 연구와 시간이 필요하여 이번 시제품 제작에 있어서는 제외하였다. 제작된 스위블 유닛의 시제품 사진은 Fig. 9와 같고 특허등록 되었다⁽⁹⁾.

4.2 장착 실험

스위블 유닛의 회전 동작 시 케이블이 회전체에 간섭되는지의 여부를 확인하기 위하여, 수행한 시뮬레이션결과와 동일한 조건의 직경을 갖는 스프링형 케이블을 제작하여 장착

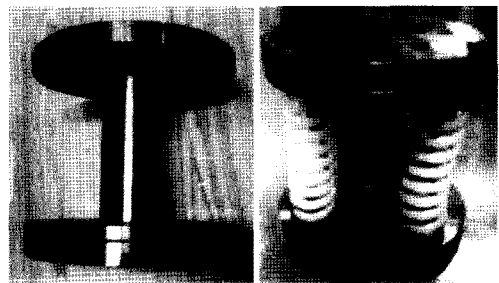


Fig. 9 Prototype of swivel unit

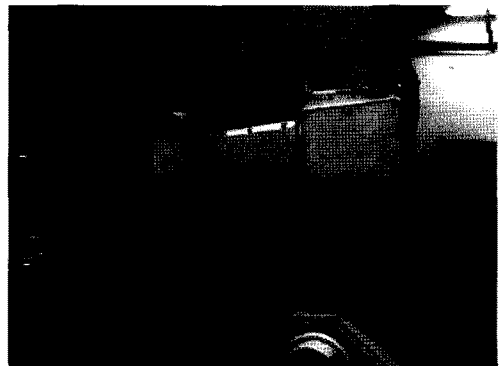


Fig. 10 Mounting test of swivel unit for welding robot

및 작동실험을 수행하였다. 그리고 스프링형 케이블의 신축과 복원이 원활한 케이블의 길이를 찾기 위하여 스프링형 케이블의 감김 횟수를 달리하여 실험하였다.

실험결과로부터 스프링형 케이블의 감김 횟수가 많을 경우 케이블의 복원력이 떨어지고 엉키는 현상이 발생하였다. 따라서 스프링형 케이블의 직경은 45mm, 감김 횟수는 5회일 때가 가장 큰 유효회전각과 가장 좋은 복원상태를 나타내었다. 이것은 회전각을 위한 시뮬레이션결과와 잘 일치함을 확인할 수 있다. 장착실험 실시 예는 Fig. 10과 같다.

4.3 성능실험

성능을 검정하기 위해 실 작업 로봇에 장착하여 성능실험을 실시하였다. 로봇 작업 툴의 성능검정 실험에는 스위블 유닛의 회전각도, 로봇 툴의 신장률(작업범위), 내구성(수명), 허용하중(작업하중), 최고압력, 최고회전속도 등의 항목이 있으나 스위블 유닛의 성능과 관계되는 항목은 회전각도, 작업하중, 내구성 등이다. 스위블 유닛의 회전각도는 작업의 효율성과 직접적인 관계가 있으므로 매우 중요한 성능요소이다. 아울러 원하는 각도로 스위블 유닛의 회전 작동 시 스프링형 케이블들이 주위 물체에 간섭을 주지 않고, 엉킴이 없이 복원되는 것이 매우중요하다.

스위블 유닛의 회전각도 성능실험의 과정과 결과를 나타내면 Fig. 11과 같고, 최대 회전가능 각도는 450°로 측정되었다. 이는 기존의 스위블 유닛의 최대회전각도 400°보다 좋은 성능을 보였으며 시뮬레이션 결과와도 잘 일치함을 알 수 있다. 작동상태에서도 스프링형 케이블과 공급케이블 모두 무리가 없이 자연스러운 형상을 유지하였다.

스위블 유닛의 내구성 실험은 48시간동안 가동 실험하였다. 문제점이 발생하지는 않았지만 48시간의 가동만으로 내구성을 가졌다라고 판단하기는 무리가 있다. 엄밀한 내구성을 검정하기 위해서는 스위블 유닛용 전용 케이블이 개발된 후 진행되어야할 사안으로 판단된다.

작업하중은 스위블 유닛의 강도와 관계된다. 작업하중을 고려한 스위블 유닛의 가장 취약부인 축의 요철부 강도를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 간접적으로 안전함을 Fig. 8에서 보인바 있다. 이것은 실사용에 있어서 용접 툴의 하중은 약 40kgf정도이며, 강도해석 수행에 있어서는 실 하중의 10배인 400kgf를 적용한 것으로 해석상에서 안전한 영역에 있음을 확인하였다. 따라서 실사용에서도 강도상 문제는 없을 것으로 판단된다.

개발된 스위블 유닛에 스폿용접용 작업 툴인 용접 건을 부착한 실 작업 상태를 나타내면 Fig. 12와 같다.

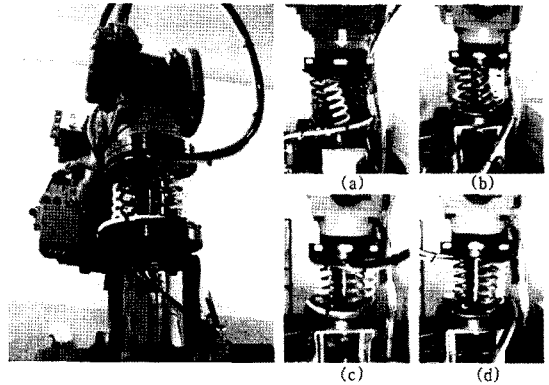


Fig. 11 Rotational angle test of developed swivel unit
(a) 0°, (b) 180°, (c) 360°, (d) 450°



Fig. 12 Actually applied example at spot welding robot of developed swivel unit

5. 결론

본 연구에서는 기존의 스위블 유닛의 단점을 보완개선하기 위하여 기계가공에 의한 유체의 전달구조가 아닌 신축성과 복원성이 있는 스프링형 케이블을 고안한 새로운 형식의 스위블 유닛을 제안하였고 시제품을 개발하였다. 제작과 작동과정에서 발생할 수 있는 문제점의 최소화화 시행착오를 줄이기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 점검하였다. 시제품의 제작과 실험을 통하여 스위블 유닛의 기능 중 주요요소인 유효회전각도의 유지와 작동 중 스프링형 케이블과 공급케이블이 아무런 마찰 없이 유기적으로 작동하는 것을 확인하였고 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 개발된 스위블 유닛은 기존의 기계가공에 의한 면 접촉 전달방식의 스위블 유닛을 대체할 수 있을 뿐만 아니라 케이블의 꼬임으로 인한 작동범위가 제한되는 문제점해결이 가능하게 되었고, 외부장치들과 케이블의 마찰로 인한 마모를 줄일 수 있게 되어 각종 컴포넌트의 수명연장과 생산성이 향상에 기여할 수 있음을 확인하였다.
- (2) 산업로봇의 작업 범위와 효율성에 직접적인 영향을 미치는 스위블 유닛의 유효회전각도는 매우 중요하며, 기존 유닛의 최대유효회전각도 400°를 초과하는 450°까지 유효회전이 가능하게 되어 작업의 범위와 효율성이 향상될 수 있음을 확인하였다.
- (3) 스위블 유닛용 스프링형 케이블은 스위블 유닛의 회전각도 증가에 따라 어떠한 간섭도 받지 않아야 하고, 또한 케이블과 케이블과의 간섭도 일어나지 않아야 하며, 자연스러운 신장과 복원이 이루어져야 한다. 이러한 조건을 만족하는 스프링형 케이블의 직경은 45mm, 감김 횟수는 5회일 때가 가장 큰 유효회전각과 가장 좋은 복원상태를 나타내었다.
- (4) 스위블 유닛의 강도 검토를 위해 스위블 유닛의 가장 취약부인 축 양 끝단의 요철부 강도해석을 수행하였다. 실사용에 있어서 용접 톨의 하중이 약40kgf정도인 것을 고려하여 강도해석 수행에 있어서는 실 하중의 10배인 400kgf를 적용하여 해석을 수행하였으며, 해석상에서 안전한 영역에 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 울산대학교 교내연구비와 POST BK21 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- (1) Jung, M. T., 2007, *Policy reference 2007-63: 2020 visions and strategy of robotics industry*, The Korea Institute for Industrial Economics and Trade(KIET), pp. 29~32.
- (2) Jung, M. T., 2002.11, *Industry economy analysis: The view and the growth way of industrial robot*, The Korea Institute for Industrial Economics and Trade(KIET), pp. 14~22.
- (3) Beak, J. H., Kim, Y. W., Sim, J. G., Oh, H. K., Song, Y. G., Oh, Y. K., Yang, S. Y., and Kim, Y. S., 2004, 10, *Result report of the spread business for the research outcome: A study on development of swivel unit for car assembly welding robot*, Ministry of Commerce, Industry and Energy, pp. 7~9.
- (4) Lee, S. S., Hwang, Y. J., and Kim, H. J., 2002, *CATIA V5 to study by PC. ver 5.7*, Scientific Technique, pp. 319~370, pp. 631~633.
- (5) MSC., 2005, *SimDesigner Catia V5 R14 Manual. Chapter: SMO guide part*, MSC Software, Santa Ana, pp. 90~96.
- (6) MSC., 2001, *Basic ADAMS Full Simulation Package Training Guide. Version 12.0. Chapter: Adams Postprocessor guide part*, MSC Software, Santa Ana, pp. 47~60.
- (7) MSC., 2005, *SimDesigner Catia V5 R14 Manual. Chapter: SDL guide part*, MSC Software, Santa Ana, pp. 97~108.
- (8) Park, G. Y., Song, M. S., Lee, Y. S., Ju, H. O., Hwang, S. J., and Hwang, S. O., 2001, *Computer integrated machine design*, Inter VISION, South Korea, pp. 74~99, pp. 237~280.
- (9) Beak, J. H., Sim, J. G., and Yang, S. Y., 2004, *Swivel unit used in spot welding by robot arm*, KR Patent: 10-0540706.