

다양한 관절 구성을 위한 모듈라 매니플레이터의 관절 및 링크 모듈 형상 도출

Joint and Link Module Geometric Shapes of Modular Manipulator for Various Joint Configurations

홍 성 훈^{1,2}, 이 우 섭², 이 형 철³, 강 성 철⁺

Seonghun Hong¹, Woosub Lee², Hyeongcheol Lee³, Sungchul Kang⁺

Abstract A modular manipulator in serial-chain structure usually consists of a series of modularized revolute joint and link modules. The geometric shapes of these modules affect the number of possible configurations of modular manipulator after assembly. Therefore, it is important to design the geometry of the joint and link modules that allow various configurations of the manipulators with minimal set of modules. In this paper, a new 1-DoF(degree of freedom) joint module and simple link modules are designed based on a methodology of joint configurations using a series of Rotational(type-R) and Twist(type-T) joints. Two of the joint modules can be directly connected so that two types of 2-DoFs joints could be assembled without a link module between them. The proposed geometries of joint and link modules expand the possible configurations of assembled modular manipulators compared to existing ones. Modular manipulator system of this research can be a cornerstone of user-centered markets with various solution but low-cost, compared to conventional manipulators of fixed-configurations determined by the provider.

Keywords Modular manipulator, Revolute joint, Joint configuration, Joint module, Link module, Connection mechanism

1. 서 론

기존 로봇 매니플레이터는 로봇의 작업 공간 내 사람의 접근이 제한되는 닫힌 환경에서 미리 정의된 작업을 수행해 왔다. 이와 같이 인간과 로봇 사이의 안전을 확보

하는 방법은 향후 인간-로봇 협업 또는 공존이 예상되는 환경에 적용하기에 적합하지 않다. 또한, 제조사 중심의 매니플레이터의 사양 및 작업 정의를 사용자가 그대로 따랐던 과거와는 달리 쉬운 인터페이스로 사용자가 쉽게 작업을 지정하여 다양한 고객 수요에 유연하게 대응할 수 있는 매니플레이터가 공급되고 있다^[1]. 앞으로는 사용자 중심의 작업 적응성을 충족할 수 있는 매니플레이터에 대한 수요가 점차 증가할 것으로 예상되며, 모듈의 교체가 가능한 모듈라 매니플레이터 시스템은 이러한 사용자 중심의 수요를 만족하는 하나의 솔루션이 될 수 있다.

Murata는 모듈라 로봇을 크게 4단계로 분류하였다^[2].

Received : Apr. 20. 2016; Revised :Jun. 15. 2016; Accepted : Jul. 21. 2016

⁺Corresponding author: Robotics and Media Institute, Korea Institute of Science and Technology, 5, Hwarang-ro 14-gil, Seongbuk, Seoul, Korea (kasch@kist.re.kr)

¹Department of Electrical Engineering, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong, Seoul, Korea

²Robotics and Media Institute, Korea Institute of Science and Technology, 5, Hwarang-ro 14-gil, Seongbuk, Seoul, Korea

³Department of Electrical and Biomedical Engineering, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong, Seoul, Korea

그의 분류에 따르면, 분류 1은 모듈화가 되어 있어 설계 및 유지 보수가 편하지만 모듈 간 연결 관계가 고정된 (fixed configuration)의 모듈라 로봇, 분류 2는 LEGO MINDSTORMS[®]와 같이 수동 재구성이 가능한(manually reconfigurable) 모듈라 로봇, 분류 3은 사람의 개입 없이 연결 관계가 자동으로 변화할 수 있는 자가 재구성 (self-reconfigurable)이 가능한 모듈라 로봇이며, 분류 4는 모듈이 흩어져 있어도 고유의 구성을 복제할 수 있는 자가 복제가 가능한(self-replicable) 모듈라 로봇이다.

모듈라 로봇은 여러 다른 종류의 모듈들로 구성된 이기종(heterogeneous)보다는 한 종류의 모듈로 구성된 동종(homogeneous) 시스템인 경향이 있으며, 모듈 간 결합 방향에 따라 다양한 구성을 보일 수 있다^[3]. 분류 3 이상의 모듈라 로봇은 이동성 및 연결성을 위해 사람의 개입 없이 모듈끼리 서로 접근하여 결합부에서 자동으로 결합 또는 분리하는 메커니즘이 적용되어 있다^[4,5].

하지만 대부분의 모듈라 매니퓰레이터는 동종 시스템이 아니며, 모듈라 로봇의 분류 기준으로는 볼 때, 최대 분류 2의 수동 재구성 수준에서 만족하고 있다. 이는 모듈라 매니퓰레이터의 작업 영역을 고려하였을 때, 동종의 모듈 보다는 관절과 링크 모듈이 각각 구분되는 것이 유리하며, 분류 3 이상의 이동성 및 연결성을 위한 메커니즘은 모듈라 매니퓰레이터의 관절 모듈에 요구되는 하중 조건 및 가격, 크기 면에서 설계에 부담으로 작용하기 때문으로 보인다. 따라서, 모듈라 매니퓰레이터는 LEGO를 조립하는 것과 같이 작업에 적합하도록 추천된 구성을 통해 사용자가 수동으로 재구성한 후, 모듈 각 결합 관계를 인식하는 분류 2가 적합하다.

이러한 분류 2에 해당하는 VSA-Cube는 동종 시스템의 모듈로 모듈의 크기가 일정하며, 가변 강성 기능을 갖고 있다^[6]. CMU에서 개발된 Series Elastic 방식의 뱀 로봇은 모듈화된 굽힘 회전 관절들이 직렬로 구성되어 있으며, 인접 모듈 간 회전축 방향이 서로 90도로 비틀린 채 관절 모듈이 직렬 결합된다^[7]. DLR LWR III은 관절 및 링크 모듈을 모듈화하여 높은 자중 대비 하중을 갖고 있다^[8]. Schunk는 다양한 사양의 1 또는 2-자유도 관절과 그립퍼 또는 툴 장착을 위해 빠른 변환이 가능한 모듈 라인업을 갖추고 있다^[9]. Robotis^[10]는 다양한 사양의 관

절 모듈 솔루션을 잘 갖추고 있어 DARPA Robotics Challenge의 최종 결선 팀 중에서 여섯 팀이 로봇의 각 관절에 핵심 구동 부품으로 사용한 바 있다. 또한, 환자가 장시간 착용을 하더라도 무리가 없도록 경량화가 필요한 재활 로봇의 손 모듈 개발에 구동 모듈로 사용되기도 하였다^[11]. Universal Robot^[11]의 UR3, 5, 10은 링크 및 관절 모듈의 크기 및 사양이 다르기 때문에 작업 공간의 크기 또는 하중 요건에 따라 선택할 수 있다. OUR Robot^[12]은 4-자유도에서 7-자유도까지 모듈라 매니퓰레이터 솔루션을 갖고 있다. 하지만 이러한 로봇들의 모듈형 설계는 유지보수 측면에서 장점을 갖고 있으나 여전히 제조사 중심으로 분류 1의 고정된 구성 솔루션을 제공하기 때문에 사용자 중심의 모듈 결합으로 다양한 관절 구성을 보이는데 한계가 있다.

CMU의 RMMS는 관절 및 링크 모듈마다 모듈 정보가 내장되어 재구성 기능을 통해 분류 2 수준의 재구성 기능을 갖고 있으나, 한 모듈의 크기가 크고 무게가 10 Kg가 넘어 무겁기 때문에 자중 측면에서 다양한 다관절 구성을 갖추는데 적합하지 않다^[13]. Toshiba에서 개발된 TOMMS는 세 관절 모듈과 관절 모듈 간 거리를 두기 위해 길이 조절이 가능한 옵션의 링크 모듈로 구성된 3-자유도 매니퓰레이터 시스템으로, 관절 모듈은 X, Y, Z 방향의 세 입력 단자와 X, Z 방향의 두 출력 단자를 갖고 있다^[14]. 관절 모듈의 총 다섯 단자의 방향을 고려하여 결합하는 방식에 비해, 제시된 3-자유도 매니퓰레이터 구성 사례는 두 유형으로 제한적이다.

동명대에서는 역구동성 확보 관점에서 휴머노이드 로봇의 최적 액추에이터 구성 조합을 제안하고 모듈을 개발하였다^[15]. KIST에서는 일반적인 직렬 매니퓰레이터를 구성하는 일련의 회전 관절들을 굽힘(Rotational, R형) 또는 비틀림(Twist, T형) 관절을 비롯한 네 유형으로 분류하여 충돌 안전에 적합한 분류 1의 매니퓰레이터의 관절 구성을 제안한 바 있다^[16]. 또한, KIST의 관절 구성 기법이 분류 2의 모듈라 매니퓰레이터의 관절 및 링크 모듈의 개념 검증 모델(Proof of Concept, POC) 설계에도 적용되어 세 가지의 관절 구성 사례를 통해 제어하는 등 모듈라 로봇 분야에도 적용 가능성을 보였다^[17].

본 연구에서는 어깨, 팔꿈치, 손목 관절을 갖는 직렬

매니플레이터의 인접한 두 관절 구성을 기존의 대칭 구조에서 비대칭 구조까지 확장하여 나타내었다. 이를 통해 도출된 관절 및 링크 모듈 형상은 기존의 모듈라 매니플레이터들과 비교하여 관절 구성을 보다 다양하게 나타낼 수 있게 한다. 본 연구의 사례 연구를 통해 사용자가 원하는 작업 및 관절 모듈의 개수에 따라 다양한 다자유도 관절 구성으로 조합할 수 있음을 보였다.

2. 직렬 매니플레이터의 관절 구성

직렬 또는 병렬 매니플레이터의 각 관절은 크게 회전 관절(revolute joint)과 미끄럼 관절(prismatic joint)로 나눌 수 있다. 이 연구에서는 인간 팔과 유사한 형상(anthropomorphic arm)의 직렬 구성의 매니플레이터에 중점을 두고 있다. 이러한 매니플레이터는 base부터 end-effector까지 회전 관절과 링크가 직렬로 구성되어 일반적으로 6 또는 7 자유도를 갖고 있다. 본 장에서는 직렬 매니플레이터를 회전 관절 단위로 나누어 설명한다.

2.1 회전 관절의 종류

일반적인 직렬 매니플레이터는 Fig. 1과 같이 두 유형의 회전 관절을 이용하여 일련의 관절 구성으로 나타낼 수 있다. 여기서 o_i 는 관절 i 의 원점이며, 회전축 z_i 는 단위

Serial-chain manipulator of anthropomorphic arm

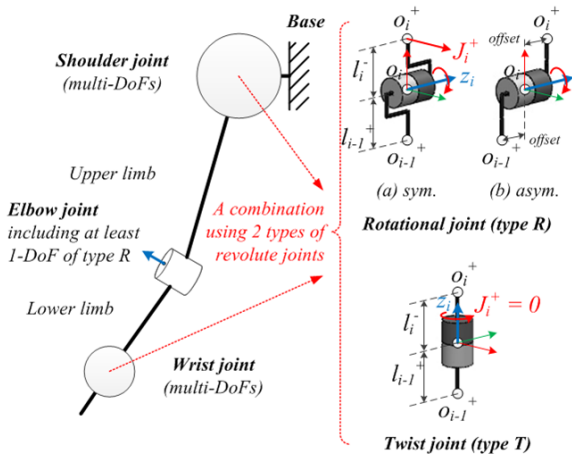


Fig. 1. Serial-chain manipulators can be configured by a series of joints of two types: Rotational (type-R) or Twist (type-T) joints

벡터로 가정한다. o_i^+ 는 관절 i 와 관절 $i+1$ 사이의 링크 l_i 를 l_i 와 l_i^+ 둘로 나눴을 때, l_i 와 l_i^+ 사이의 중간 노드를 나타낸다. J_i^+ 는 관절 i 가 회전 시 중간 노드 o_i^+ 의 운동 방향이다.

관절 i 를 기준으로 할 때, R형(Rotational) 관절은 회전축 z_i 와 인접한 두 링크 l_{i-1}^+ 와 l_i 의 방향이 수직인 굽힘 회전 관절이며, 매니플레이터의 팔꿈치 관절이 대표적인 R형 관절이다. 원점 o_i 를 기준으로 l_{i-1}^+ 와 l_i 사이의 offset 유무에 따라 비대칭과 대칭 구조를 갖는데, 이는 관절에 연결되는 링크의 형상에 따라 결정된다. T형(Twist) 관절은 회전축 z_i 와 인접한 두 링크 l_{i-1}^+ 와 l_i 의 방향이 같은 비틀림 회전 관절이다. Fig. 1의 R형 및 T형 관절을 이용하여 인접한 두 관절 사이의 링크를 두 부분으로 나누고 중간 노드를 중심으로 링크의 굽힘 및 비틀림 각도 관계를 이용하여 확장할 수 있음을 다음 절을 통해 설명한다.

2.2 R과 T형 관절을 이용한 인접한 두 관절

Fig. 2는 T형과 R형을 이용하여 인접한 두 관절 구성을 나타낸 것이다. 여기서부터 기호 ‘ \perp ’(또는 p)는 직각을 의미한다. $\perp T$ 형 관절은 T형 관절의 출력 링크 l_i 의 이후 중간 노드 o_i^+ 를 중심으로 l_i 와 l_i^+ 가 서로 수직일 때, $\perp T$ 형 관절은 T형 관절의 입력 링크 l_{i-1} 의 이전 중간 노드 o_{i-1}^+ 를 중심으로 l_{i-1} 와 l_{i-1}^+ 가 서로 수직일 때와 같다. 중간 노드를 중심으로 두 부분으로 나눈 링크 사이의 굽힘 및 비틀림 각도 관계를 통해 Fig. 3(대칭 구조)과 Fig. 4(비대칭 구조)와 같이 다양한 관절 구성을 표현할 수 있다. 기존 매니플레이터의 어깨 또는 손목 관절의 대부분에서 볼 수 있는 2-자유도 관절 구성은 TR, RT, RR

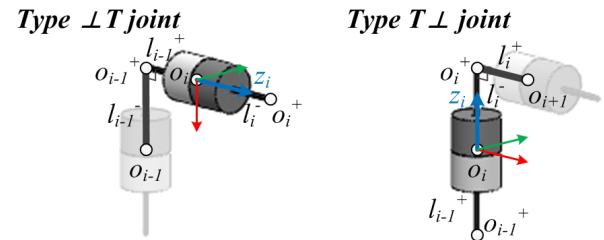


Fig. 2. Extended joint types by the adjacent link shape attached before or after type T joints

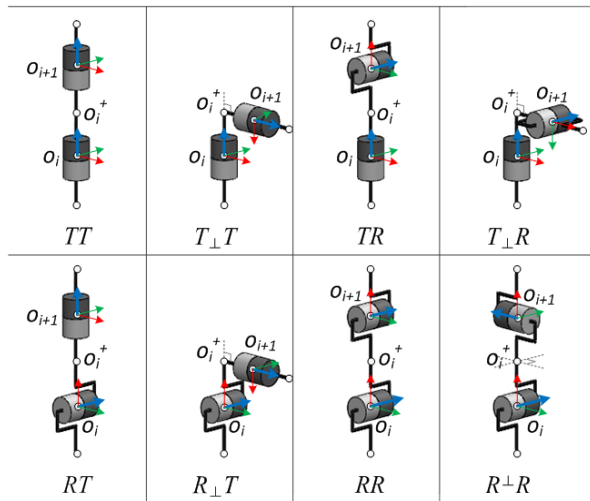


Fig. 3. Examples of adjacent two joint configurations using type R and T joints (Symmetric)

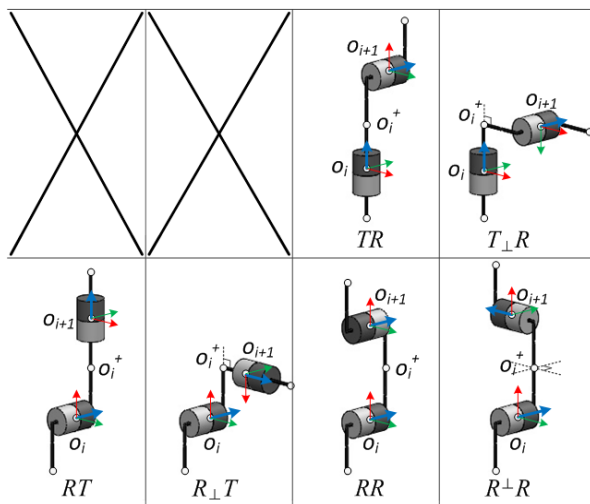


Fig. 4. Examples of adjacent two joint configurations using type R and T joints (Asymmetric)

구성이다. $T \perp R$, $R \perp T$ 은 TR , RT 와 비슷한 확장 구성이지만 l_i 와 l_i^+ 가 서로 곱함 \perp 를 이루어 각각의 회전축 사이에 l_i^+ 의 offset을 둘 수 있는 차이가 있다. $T \perp T$, $R \perp R$ 은 TT , RR 의 l_i 와 l_i^+ 가 곱함 및 비틀림 \perp 를 이루면서 확장되는 구성이다. 이번 절에서 언급한 두 인접한 관절 구성을 나타낼 수 있는 모듈라 관절과 링크를 다음 장에서 설명한다.

3. 모듈라 관절 및 링크

3.1 관절 모듈

KIST에서는 이전 장의 인접한 두 관절 구성을 다양하게 표현할 수 있으면서, 감속기, 모터, 엔코더, 제어기가 하나의 모듈 안에 통합된 1-자유도 관절 모듈 POC(Fig. 5)를 개발하였다^[7]. 관절 모듈 POC의 입출력 부분은 일반적인 모듈라 매니플레이터의 관절 모듈과는 달리 감속기와 연결된 회전 출력 부분 1개와 출력 반대편 수평 입력 부분 및 모듈 중간의 수직 입력 부분 2개로 구성되어 있다. 이는 2장에서 R형과 T형 관절의 링크 방향이 회전축 방향과 각각 수직 또는 수평을 이루는 것에서도 출하였다. 수평 입력-출력 부분은 관절-링크 결합 시 회전축 방향과 링크의 방향에 따라 R형 또는 T형 관절 중 하나로 나타낼 수 있으며, 수직 입력 부분은 인접한 두 1-자유도 관절 모듈 사이에 링크 모듈 없이 직접 결합하는데 사용된다.

3.2 링크 모듈

본 절은 모듈라 매니플레이터의 어깨와 팔꿈치 관절 사이의 상박 및 팔꿈치와 손목 사이의 하박 링크 형상에 대해 설명한다. 매니플레이터의 대칭 및 비대칭 구조는 링크 형상을 통해 결정할 수 있다.

Fig. 6은 모듈라 매니플레이터의 상박 및 하박 링크에 해당하는 링크 모듈을 나타낸다. 링크 모듈 1(LM 1)은 각 링크 모듈은 Fig. 4에서 RR 구성의 비대칭 구조 형상

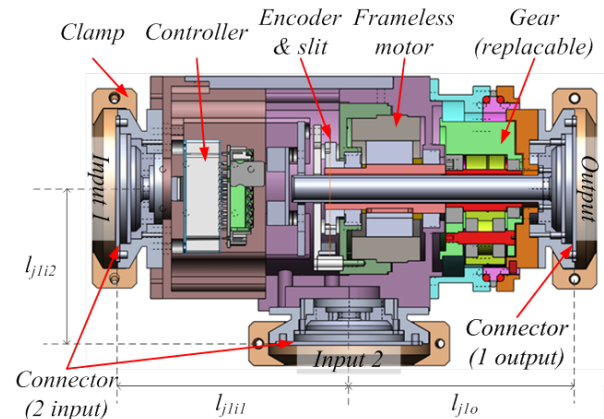


Fig. 5. Joint module POC

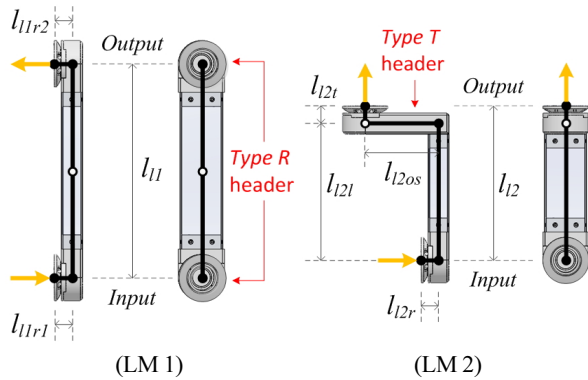


Fig. 6. Link modules

의 링크에 대응된다. RR 구성의 링크를 비대칭 구조(Fig. 4)로 가져갔을 때의 장점은 RR 구성의 대칭 구조(Fig. 3)에 비해 형상이 단순하여 저비용으로 설계 및 제작할 수 있으며, 인접한 관절과의 간섭이 없어 최대 회전각을 크게 가질 수 있다. 링크 모듈 2(LM 2)는 Fig. 3에서 RT(정방향) 또는 TR(역방향) 구성의 대칭 구조 형상에 대응된다. LM1과 LM2 각 링크 모듈의 길이 l_1 와 l_2 는 입력과 출력 부분의 헤더 사이의 단순화된 일자 형상 링크 부품의 길이에 의해 사용자가 쉽게 변경할 수 있다. 다음 절에서는 관절 또는 링크 간 결합에 대해 설명한다.

3.3 모듈 간 결합

관절 및 링크 모듈은 Fig. 7과 같이 연결 메커니즘을 통해 결합할 수 있다. 클램프는 인접한 두 결합부 사이의 강한 기계적인 결합을 가능하게 한다.

Fig. 8은 결합부가 무성별로 구현된 연결 메커니즘이

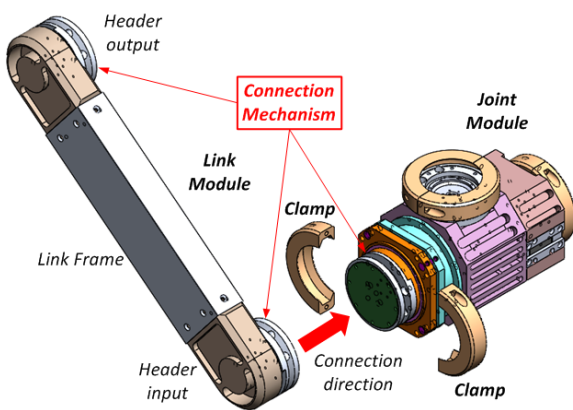


Fig. 7. Connection of a link and a joint module

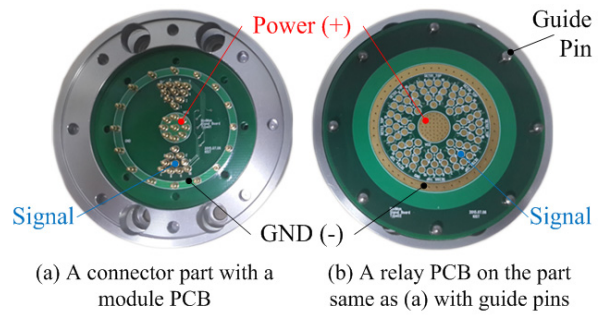


Fig. 8. Connector mechanism with communication and power bus for electrical connection

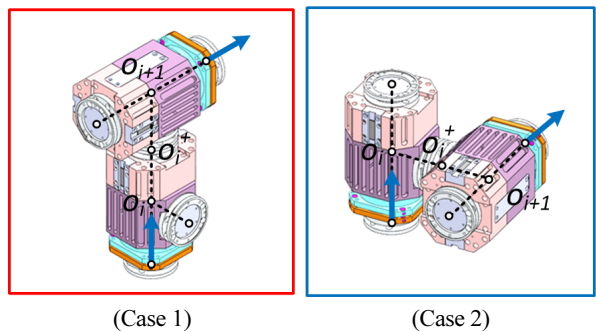


Fig. 9. Direct connection of two joint modules

다. Fig. 8(a)는 안쪽부터 바깥쪽 순서대로 전원(원형), 신호(여덟 패턴의 삼각형), GND(환형) 영역으로 구분된 모듈 결합부이며, 모듈 기판의 단자들은 스프링 핀으로 구성되어 있다. 이 연결 메커니즘은 비틀림 방지 가이드 핀을 제외하고 동일 형상의 두 모듈 결합부 사이에 Fig. 8(b)와 같이 중계 기판이 위치하여, 45도 간격으로 여덟 방식의 상대 위치 결합이 가능하다.

두 관절 모듈이 직접 결합할 때, 결합되는 각각의 입력 부분에 따라 Fig. 9와 같이 Case 1과 Case 2의 2-자유도 관절 모듈 형태로 결합될 수 있다. Case 1은 중간 노드 o_i^+ 를 중심으로 관절 i 의 수직 입력 부분이 관절 $i+1$ 의 수평 입력 부분과 직접 결합되는 관절 구성이며, 두 회전축이 o_{i+1} 에서 교차한다. 이는 Schunk^[9]의 2-자유도 모듈인 Powerball ERB와 같은 관절 구성이다. Case 2은 관절 i 와 관절 $i+1$ 의 수직 입력 부분과 직접 결합되는 관절 구성이며, 두 회전축이 교차하지 않고 Fig. 5에서 관절의 원점 o_i 부터 수직 입력 부분 o_{i+1} 까지 거리 l_{j12} 의 두 배만큼 offset이 존재하게 된다.

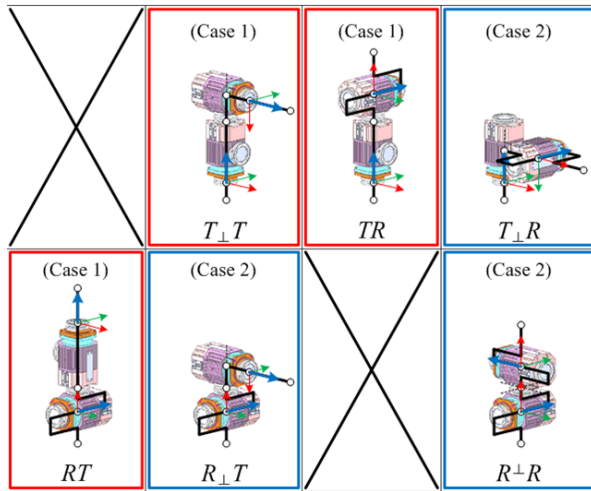


Fig. 10. Classifications of adjacent two joint module configurations (Symmetric)

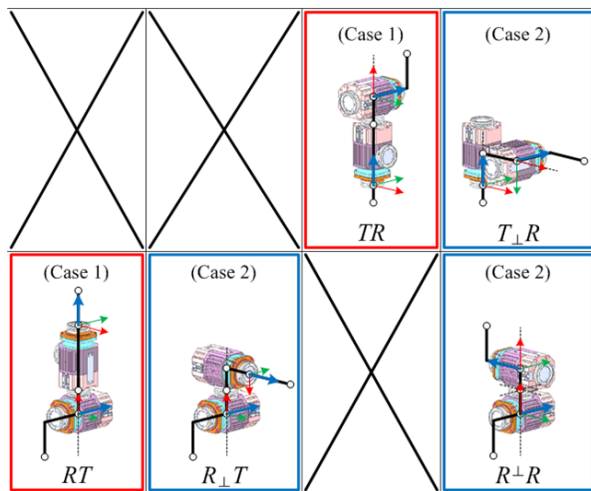


Fig. 11. Classifications of adjacent two joint module configurations (Asymmetric)

Fig. 10과 11은 각각 Fig. 3(대칭 구조)과 Fig. 4(비대칭 구조)의 인접한 두 관절 구성을 관절 모듈 POC 둘 사이의 직접 결합으로 나타낸 것이다. Case 1은 기존 모듈라 매니플레이터에서 종종 볼 수 있는 TR, RT 구성 뿐만 아니라 $T \perp T$ 를 나타낼 수 있다. Case 2는 뱀 로봇에서 볼 수 있는 $R \perp R$ 구성 뿐만 아니라 $T \perp R$, $R \perp T$ 등 다양한 관절 구성을 가능하게 한다. TT 및 RR 구성은 Fig. 9에서 나타난 관절 모듈 간 직접 결합을 통한 두 case 중에 하나로 구현되지 않으며, 직접 결합을 통해 도출할 수 있는 각각의 솔루션이 하나이므로 다양한 구성이 가

능해야 하는 모듈라 매니플레이터에 적합하지 않아 제외하였다. RR 구성은 어깨 마지막 관절과 팔꿈치 관절 또는 팔꿈치 관절과 손목 첫 관절 등의 두 관절 사이에 링크 모듈 LMI를 두어 구현할 수 있다. 다음 장에서는 관절 및 링크 모듈을 이용하여 다양한 관절 구성의 모듈라 매니플레이터 사례 연구를 설명한다.

4. 모듈라 매니플레이터 구성 사례 연구

이전 장에서 도출된 형상의 모듈라 관절 및 링크를 이용하여 모듈라 매니플레이터의 다양한 관절 구성의 예를 사례 연구를 통해 살펴 보도록 한다. Fig. 12는 분류 1에 해당하는 Universal Robot^[11]의 UR series와 OUR robot^[12]의 4에서 7-자유도의 라인업을 예로 나타낸 것이다. 관절 모듈은 입력과 출력 회전축 방향이 수직 관계인 1-자유도 모듈로 둘 수 있다. 링크 모듈은 LM 1과 2형으로 두 종류이다. OUR robot의 상박 링크는 LM 1형으로 2축과 3축 관절 모듈 사이에 RR 구성을 나타내는데 사용된다. 하박 링크에는 5 또는 6-자유도 구성의 경우 LM 2형으로 2축과 3축 관절 모듈 사이에 RR 구성을 나타내며, 7-자유도 구성의 경우 같은 LM 2형이지만 4축과 5축 모듈 사이에서 TR 구성을 나타내는데 사용된다. UR series의 모든 솔루션은 OUR robot의 6-자유도 관절 구성

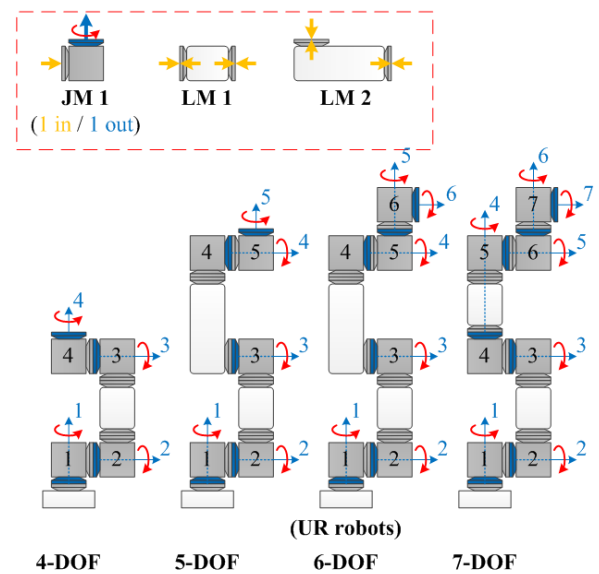


Fig. 12. Modular manipulators with 1-DoF joint modules

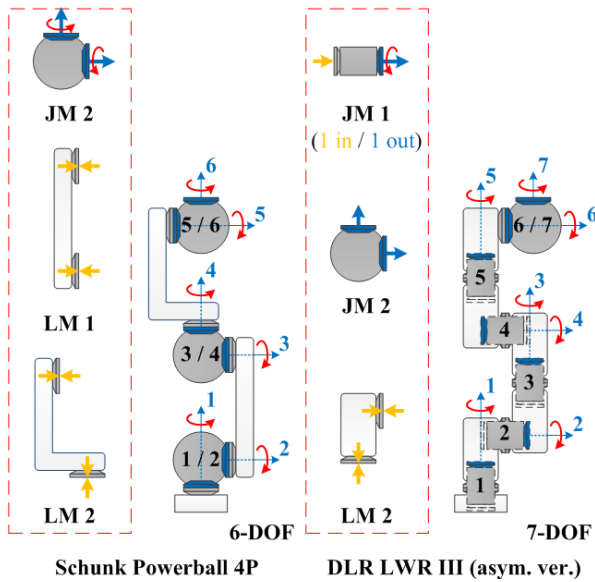


Fig. 13. Modular manipulators including 2-DoF joint module(s)

사례와 같다.

Fig. 13은 2-자유도 관절 모듈을 포함하는 모듈라 매니플레이터인 DLR의 LWR III의 비대칭 버전^[8]과 Schunk^[9]의 Powerball LWA 4P를 나타낸 것이다. DLR LWR III는 5축 링크까지 LM 2형 안에 조인트 모듈이 매립되어 TR 및 RT 관절 구성이 교대로 나타나며, 6, 7축을 2-자유도 관절 모듈로 RT 구성을 나타낸다. Schunk Powerball LWA 4P는 2-자유도 관절 모듈 3개로 6-자유도 관절 구성을 가진다.

Fig. 12와 13으로 정리한 것과 같이 기존의 모듈라 매니플레이터 솔루션은 관절 모듈의 입력 및 출력 방향이 1개씩으로, 1종의 관절 모듈과 2종의 링크 모듈 또는 2종의 관절 모듈과 1종의 관절 모듈로 모듈화를 하였으나, 다양한 구성 사례로 조합할 수 없어 단순한 관절 구성을 보인다. 제조사의 제작과 유지 보수 과정에서 장점은 있으나, 사용자가 DIY로 원하는 관절 구성을 조합하는데 한계가 있다. 하지만 본 연구를 통해 도출된 2종의 링크 모듈과 1종의 관절 모듈은 출력 회전축 방향과 수평 방향 또는 수직 방향으로 결합이 가능하여 Fig. 14와 같이 어깨, 팔꿈치, 손목 관절마다 다양한 조합을 나타낼 수 있다. 관절 모듈 1종과 링크 모듈 2종 등 총 3종으로 어깨 2-3 자유도, 팔꿈치 1-2 자유도, 손목 2-3 자유도의 조합 중에 사용자가 원하는 구성으로 선택하여 조합하

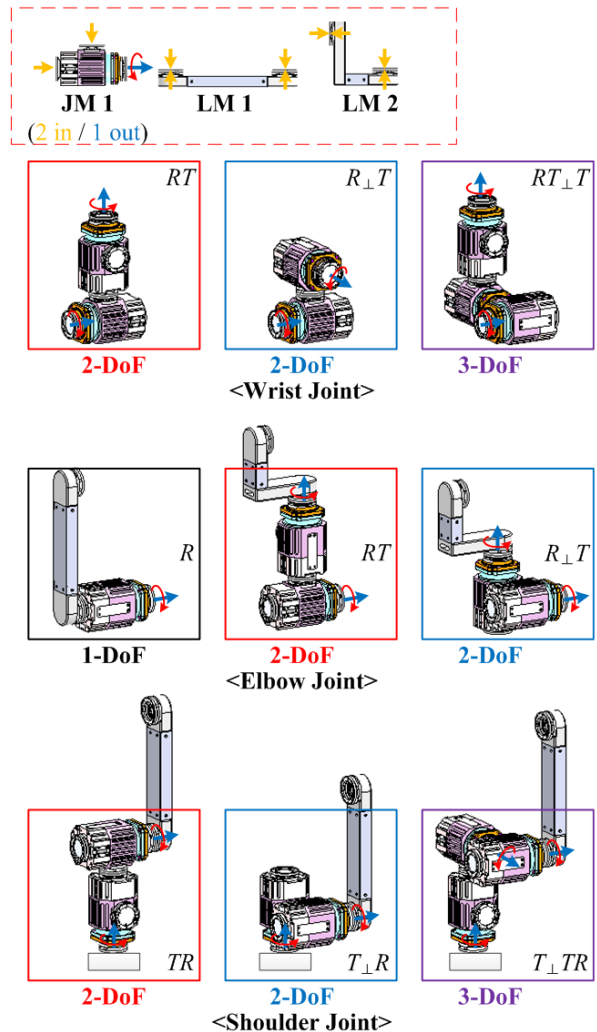


Fig. 14. Possible combinations of Shoulder-Elbow-Wrist joint configurations of modular manipulator system

면, 적게는 어깨-팔꿈치 3자유도부터 어깨-팔꿈치-손목 8자유도까지 원하는 자유도로 모듈라 매니플레이터를 구성할 수 있다.

5. 결 론

이 논문은 T형과 R형 관절을 이용한 직렬 매니플레이터의 관절 구성 기법을 바탕으로 다양한 관절 구성이 가능한 모듈의 형상 도출에 대한 새로운 방법론을 제안하고 관절 및 링크 모듈에 대한 설계를 도출하였다. 본 연구를 통해 도출된 형상의 관절 및 링크 모듈로 기존의 모듈라 매니플레이터가 제공하는 솔루션보다 더 다양한

관절 구성으로 확장이 가능함을 사례 연구를 통해 보였
다. 관절-관절 모듈로 직접 결합이 가능하여 실제 자유도
보다 적은 수의 링크 모듈로도 같은 수의 관절-링크 모듈
로 이루어진 기존 매니퓰레이터의 경우보다 다양한 어깨
-팔꿈치-손목 관절 구성이 가능하다.

향후 연구로는 2-자유도 관절 모듈을 제작하고, 모듈
간 결합 위치 정보를 이용하여 모듈 결합 시 자가재구성
이 가능하도록 관절 및 링크 모듈을 개선할 예정이다.
이를 위해 본 연구를 통해 도출된 링크 모듈에 대한 형상
을 비롯하여 모듈에 대한 정보를 담은 제어기가 각 모듈
내에 장착되고, 결합부에는 모듈 간 상대적인 결합 위치
를 파악할 수 있도록 위치 감지를 위한 단자와 회로가
구성될 것이다.

후 기

이 논문은 산업통산자원부 산업기술혁신사업(10048920)
의 지원을 받아 한국산업기술평가관리원의 관리하에 수
행되었음.

References

- [1] "Universal Robots" <http://www.universal-robots.com>
- [2] S. Murata and H. Kurokawa, "Self-Organizing Robots," Springer, 2012.
- [3] M. Yim, D. G. Duff and K. D. Roufas, "PolyBot: a Modular Reconfigurable Robot," in IEEE International Conference on Robotics & Automation, San Francisco, CA, April 2000, pp. 514-520.
- [4] M. Yim, B. Shirmohammadi, J. Sastra, M. Park, M. Dugan, and C. Taylor, "Towards Robotic Self-reassembly After Explosion," in IEEE/RSJ Conference on Intelligent Systems and Robots, San Diego, CA, USA, 2007, pp. 2767-2772.
- [5] J. Davey, N. Kwok, and M. Yim, "Emulating Self-reconfigurable Robots-Design of the SMORES System," in IEEE/RSJ Conference on Intelligent Systems and Robots, Vilamoura, Algarve, Portugal, 2012, pp. 4464-4469.
- [6] M. G. Catalano, G. Grioli, M. Garabini, F. Bionomo, M. Mancini, N. Tsagarakis, and A. Bicchi, "VSA-CubeBot: a Modular Variable Stiffness Platform for Multiple Degrees of Freedom Robots," in IEEE International Conference on Robotics and Automation, Shanghai, China, 2011, pp. 5090-5095.
- [7] D. Rollinson, Y. Bilgen, B. Brown, F. Enner, S. Ford, C. Layton, J. Rembisz, M. Schwerin, A. Willig, P. Velagapudi, and H. Choset, "Design and architecture of a series elastic snake robot," in IEEE/RSJ Conference on Intelligent Systems and Robots, Chicago, IL, USA, 2014, pp. 4630-4636.
- [8] G. Hirzinger, N. Sporer, M. Schedl, J. Butterfaß and M. Grebenstein, "Torque-Controlled Lightweight Arms and Articulated Hands: Do We Reach Technological Limits Now?," International Journal of Robotics Research, Vol. 23, No. 4-5, 2004, pp. 331-340.
- [9] "Schunk" <http://mobile.schunk-microsite.com>
- [10] "Robotis" <http://en.robotis.com>
- [11] J. Song and W. Song, "Development of Robotic Hand Module of NRC Exoskeleton Robot (NREX)," Journal of Korea Robotics Society Vol. 10, No. 3, 2015, pp. 162-170
- [12] "OUR Robot" <http://www.smokierobotics.com>
- [13] C. Paredis, H. Brown, and P. Khosla, "A rapidly deployable manipulator system," in IEEE International Conference on Robotics and Automation, Minneapolis, MN, USA, 1996, pp. 1434-1439.
- [14] T. Matsumaru, "Design and control of the modular robot system: TOMMS," in IEEE International Conference on Robotics and Automation, Nagoya, Japan, 1995, pp. 2125-2131.
- [15] Y. Oh, "Development of Humanoid Joint Module for Safe Human-Robot Interaction," Journal of Korea Robotics Society vol. 9, no. 4, 2014, pp. 264-271.
- [16] S. Hong, W. Lee, S. Kang, and H. Lee, "Joint Configuration Idea of Serial-chain Manipulators for Physical Human-Robot Interaction," in The 10th Korea Robotics Society Annual Conference, Daejeon, Korea, 2015 pp. 35-38.
- [17] S. Hong, D. Choi, S. Kang, H. Lee, and W. Lee, "Design of Manually Reconfigurable Modular Manipulator with Three Revolute Joints and Links," in IEEE International Conference on Robotics and Automation, Stockholm, Sweden, 2016, pp. 5210-5215.



홍 성 훈

2007 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부
(공학사)
2007 ~ 현재 한양대학교 전기공학과 박사과정
2007 ~ 현재 KIST 로봇·미디어연구소 학연
박사과정

관심분야: 안전 관절 메커니즘 및 매니플레이션, 모듈라 로봇, 우주 로봇



이 우 섭

1999 서강대학교 기계공학과(공학사)
2004 연세대학교 전자공학과(공학석사)
2013 동경공업대학 기계우주시스템(공학박사)
2013 ~ 현재 KIST 로봇미디어연구소 선임
연구원

관심분야: 미세 수술 로봇 메커니즘, 고신뢰성 실시간 제어기, 메커니즘
설계



이 형 철

1988 서울대학교 기계공학과(공학사)
1990 서울대학교 기계공학과(공학석사)
1997 UC Berkeley 기계공학과(공학박사)
2004 ~ 현재 한양대학교 전기·생체공학부
교수

관심분야: 차량동역학 및 제어, 고장허용 제어, 임베디드 제어 시스템



강 성 철

1989 서울대학교 기계설계학과(공학사)
1991 서울대학교 기계설계학과(공학석사)
1998 서울대학교 기계설계학과(공학박사)
1991 ~ 현재 KIST 로봇·미디어연구소 책임
연구원

관심분야: 매니플레이션, 의료 및 헬스케어 로봇, 우주 로봇