

# 와이어 구동방식 원격조작기용 그리퍼의 반자동 파지 및 해제 동작을 위한 스프링 강성 분석<sup>§</sup>

유 승 남<sup>\*†</sup> · 이 종 광<sup>\*</sup>

\* 한국원자력연구원

## Stiffness Analysis of Spring Mechanism for Semi-Automatic Gripper Motion of Tendon-Driven Remote Manipulator

Seung Nam Yu<sup>\*†</sup> and Jong Kwang Lee<sup>\*</sup>

\* Korea Atomic Energy Research Institute

(Received April 23, 2012 ; Revised May 30, 2012 ; Accepted May 30, 2012)

**Key Words:** Remote Handling System(원격조작기), Tendon-Driven System(장력구동 시스템), Kinematic Influence Coefficient(KIC, 운동학적 영향계수), Spring Mechanism(용수철 기반 기구구조), Gripper System(파지 시스템)

**초록:** 위험지역에서의 작업을 위하여 전세계적으로 원격조작기가 널리 활용되고 있다. 특히 원격 시스템의 경우, 운영되는 환경의 특징상 안정적인 성능이 담보되어야만 하며, 조작기 몸체의 경량화 및 운용환경 외부에서의 유지보수 편리성을 위하여 구동부를 시스템의 기저부에 집중시킬 수 있는 장력구동방식 메커니즘이 주로 활용되고 있다. 본 연구에서는 장력구동 방식 원격조작기에 적용하기 위한 그리퍼 탄성 구동부의 설계를 위해 시도된 접근법을 소개하고자 한다. 제시된 그리퍼 시스템은 기본적으로 스프링 메커니즘에 기반을 둔 4 절 링크형 구조를 가지고 있으며 마스터 조작자에 의해 동작되는 슬레이브 조작기의 말단부에 결합되는 구조를 가진다. 본 논문에서는 이러한 조작기의 요구사항에 맞는 그리퍼의 파지력 및 복원력을 재현하기 위하여 그리퍼 상에서의 적정 스프링 결합위치 및 요구강성과 그에 따른 운동학적 영향계수 등을 분석 및 고찰하였다. 최종적으로는 이러한 분석내용들을 바탕으로, 실제 그리퍼 시스템에 적용함으로써 타당성을 검증하였다.

**Abstract:** Remote handling manipulators are widely used for performing hazardous tasks, and it is essential to ensure the reliable performance of such systems. Toward this end, tendon-driven mechanisms are adopted in such systems to reduce the weight of the distal parts of the manipulator while maintaining the handling performance. In this study, several approaches for the design of a gripper system for a tendon-driven remote handling system are introduced. Basically, this gripper has an underactuated spring mechanism that is combined with a slave manipulator triggered by a master operator. Based on the requirements under the specified tendon-driven mechanism, the connecting position of the spring system on the gripper mechanism and kinematic influence coefficient (KIC) analysis are performed. As a result, a suitable combination of components for the proper design of the target system is presented and verified.

### 1. 서 론

원격조작기 시스템은 작업자가 접근할 수 없는 위험지역에서의 물질 취급, 장치 및 시설의 운용, 시스

템 원격 유지보수 등의 다양한 작업을 수행하고 있다.<sup>(1)</sup> 이러한 원격조작시스템은 기구학적 구조 및 관절부의 구동 방식에 따라서 다양한 종류가 존재하며, 전세계적으로 많은 연구 및 개발이 진행되어 왔다. 원격 조작기는 크게 기계식 및 서보식 조작기로 구분할 수 있으며, 기계식 조작기는 작업자의 조작력으로 장치의 대부분이 구동되는 형식으로서 장력구동방식을 통해서 조작기와 작업자가 물리적으로 직접 연결되어 있으므로 원격 대상물에 대한 물리적인

§ 이 논문은 2012년도 대한기계학회 동역학 및 제어부문 춘계학술대회(2012. 4. 11.-13., 제주 KAL 호텔) 발표논문임.

† Corresponding Author, [snyu@kaeri.re.kr](mailto:snyu@kaeri.re.kr)

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

접촉이나 취급에 대해서 작업자가 비교적 민감하고 신속하게 대응할 수 있다.<sup>(2)</sup> 서보식의 경우, 조작자가 조종하는 마스터 서보조작기의 움직임이 제어기를 통해 전기적 신호로 변환되어 슬레이브 서보조작기에 지령됨으로써 마스터 및 슬레이브 서보조작기가 동일한 동작을 수행하게 된다. 서보식 조작기는 원격대상물에 대한 물리적인 상호작용이 필요한 경우에 적절한 피드백 기능을 추가할 수 있으며, 기계식 조작기에 비하여 대체적으로 고하중물의 취급이 가능하다. 서보식 조작기의 개발 사례로는 1980년대 초반에서 1990년대 초반까지 ORNL을 중심으로 개발된 전동식 서보 매니플레이터 SM-229, M2, ASM, Telemate 시리즈, 1999년까지 약 2.5 ton의 사용후 핵연료의 전해정련 공정으로 사용된 INL(Idaho National Laboratory)의 EBR-II 시리즈, 미국 DOE 산하 6개 국립 연구소들이 개발하여 2009년 이후로 SNS(Spallation Neutron Source)의 고준위 방사선 구역에서 장치 부품의 유지보수에 활용된 Target 시설 유지보수용 원격조작 시스템, 프랑스에서 CEA LIST를 중심으로 1980년대까지 개발된 서보 매니플레이터 MA22, MA23, MA30 시리즈, 1990년대부터 범용 입력장치인 SCA(Screw-cable actuator)를 적용하여 개발한 마스터 매니플레이터 시리즈, 핵융합로 JET(Joint European Torus)의 유지보수를 위하여 영국 Oxford Tech. Ltd.에서 제작한 MASCOT 시리즈, 1987년부터 미국 ORNL과 공동연구를 수행하여 TVF 시설과 RETF 시설에 적용한 일본 JAEA의 BSM 등이 있다.<sup>(3)</sup> 그 밖에 기계식 조작기의 경우에도 미국, 독일 등지에서 양산체계를 구축하여 전세계적으로 널리 보급하고 있다. 국내의 경우, 한국원자력연구원 내에 조성된 공학규모 파이로 일관 공정 Cold 연구 시설(Pyroprocess Integrated Inactive DEMonstration)을 비롯한 다양한 설비에서 원격취급형 매니플레이터가 활용되고 있다.<sup>(4-7)</sup> 이러한 조작기들의 경우에도, 조작기 자중에 의한 부하 하중 최소화를 위하여 장력구동방식을 취하고 있으며, 말단부의 경우에도 매니플레이터 상부와 장력구동 메커니즘으로 연결되어 파지동작을 구현한다. 이러한 말단부(이하 그리퍼)는 원격조작기의 최종 동작 주체로서 원격조작기 성능을 평가하는 중요한 요소라고 할 수 있다. 특히 장력구동방식의 그리퍼의 경우, 파지를 위한 Grasping 동작, 기본 자세 복원을 위한 Release 동작을 안정적으로 구현하기 위하여 적절한 스프링 메커니즘의 설계 및 적용이 필수적인 요소라고 할 수 있다. 본 논문에서는 장력구동 방식의 마스터-슬레이브형 서보식 조작기의 요구사항에 맞는 그리퍼의 파지력 및

복원력을 재현하기 위하여 그리퍼 상에서의 적정 스프링 결합위치 및 요구강성과 그에 따른 운동학적 영향계수(Kinematic Influence Coefficient, KIC)<sup>(8)</sup>를 분석 및 고찰하였다. 최종적으로는 이러한 분석내용들을 바탕으로, 제시된 그리퍼 시스템의 구현을 위한 적정 설계요소들의 조합안을 제시하고자 한다. Fig. 1은 본 연구에서 대상으로 하는 마스터 및 슬레이브 조작기의 말단장치인 마스터 그립과 슬레이브 그리퍼에 대한 동력 전달부 구성을 나타낸다. 마스터 그립의 경우 조작자의 파지를 통해 모터 구동을 위한 전기적 신호를 생성하며, 이를 통해 모터와 직결된 폴리가 감감으로써 이와 연결된 스프링이 인장되며, 조작자가 파지를 해제하면 스프링 복원력으로 그립이 열리게 된다. 슬레이브 그리퍼의 경우 모터의 회전력으로 아이들(Idle) 기어에 직결된 폴리를 회전시키게 되며, 폴리에 감긴 와이어가 인장되면서 파지 동작을 수행하게 된다.<sup>(9)</sup> 특히 슬레이브 그리퍼의 파지를 해제할 경우, 모터가 반대 방향으로 회전하면서 전체적인 와이어 루프가 느슨해지는데, 이때 그리퍼 내부에 설치된 스프링의 복원력으로 원상 복구가 이루어지므로 모터제어의 특성을 고려하였을 때, 와이어의 장력은 최대한 일정하게 유지하여야 한다.

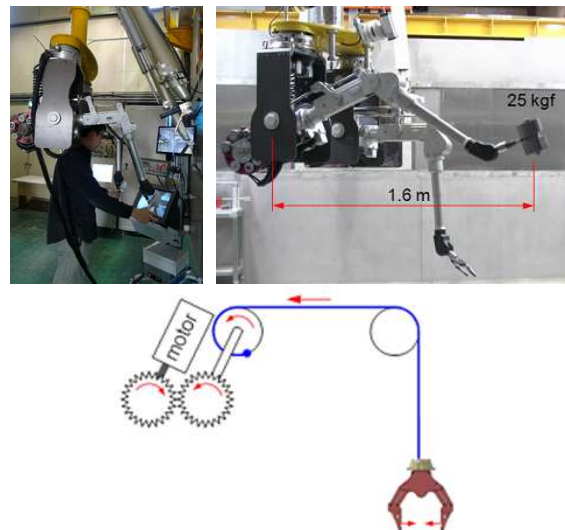


Fig. 1 Considered master-slave system and the structure of power transmission system

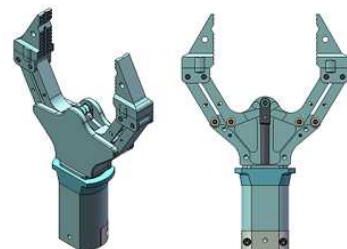


Fig. 2 Configuration of gripper mechanism

그리퍼는 구동부 모듈에 설치된 풀리에 감긴 와이어가 당겨지면 2 개의 집게(jaw)가 평행을 유지하면서 닫히게 되고, 와이어를 풀어주면 그리퍼에 설치된 스프링 복원력으로 열리게 된다. (Fig. 2) 전술한 바와 같이 전체 그리퍼 운동구간 내에서 스프링의 복원력을 가능한 한 적정 수준 내로 통제할 수 있는 설계가 요구된다.

## 2. 그리퍼 메커니즘 설계 인자 분석

### 2.1 스프링 메커니즘 연결 구조 선정

본 연구에서 제시된 그리퍼는 4 절 링크 구조에 스프링이 체결된 구조를 가지며, 스프링의 연결

방식에 따라서 다양한 복원력을 구현할 수 있다. 본 절에서는 다양한 스프링 연결구조를 재현하여 각각의 구조에 따른 그리퍼의 파지력 및 복원력과 관련한 거동을 살펴보고자 한다. Fig. 3 및 Fig. 4는 본 연구에서 대상으로 하는 그리퍼 시스템의 시뮬레이션을 위한 스프링 연결 조건과 동작 메커니즘을 각각 도시하고 있다.

스프링의 강성에 대한 시뮬레이션 조건은 제작된 서보조작기 시스템이 무부하 상태에서 파지력을 그리퍼의 동력전달부에 직접 인가하는 방식을 취하였으며 모터에서 그리퍼까지 연결된 동력전달용 케이블의 무게를 고려하여 1kg의 관성 질량을 동력전달부에 추가하였다.

### 2.2 그리퍼 거동 분석

Fig. 3 과 같이 Joint-to-Joint, Joint-to-Linkage (짧은 거리), Joint-to-Linkage(먼 거리)의 스프링 결합방식에 대해서  $k_s = 400, 800, 1600 \text{ N/m}$ 의 3 가지 강성을 가지는 스프링을 연결하여 각각의 경우에 대한 그리퍼 거동을 분석하였다. 그리퍼 파지동작을 위한 외부하중은 케이블 관성 질량인  $m_{td}$ 를 포함하여 그리퍼 파지 동작이 일어나는 방향(Fig. 4를 기준으로 우측 방향)으로 작용 하도록 하였다. 이때 고려해야 할 점은, 전술한 바와 같이 그리퍼를 초기 자세로 복원시킬 경우 모터를 반대 방향으로 회전시키면 전체 와이어 루프가 느슨해지면서 그리퍼 자체의 탄성만으로 복원되어야 하므로, 그리퍼의 스프링은 어떠한 상황에서도 일정한 복원력을 발휘 할 수 있어야 한다. 이러한 그리퍼의 복원력을 제공하는 스프링의 적절한 연결구조를 고찰하기 위하여 다음과 같은 가정을 설정하였다.

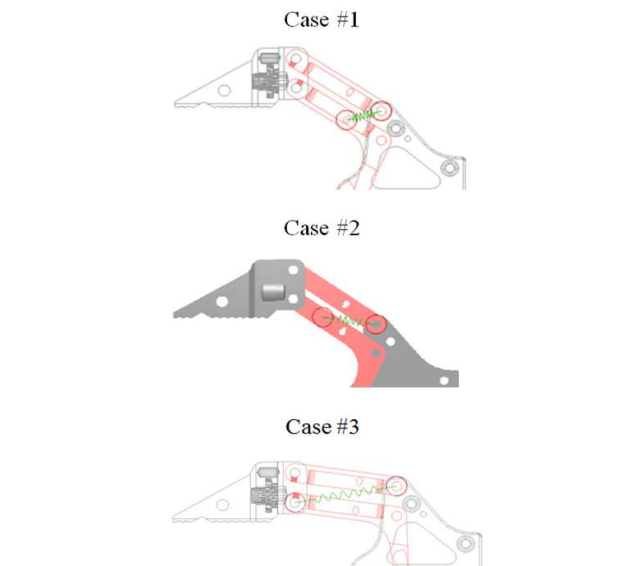


Fig. 3 Spring connection candidates for dynamic behavior simulation

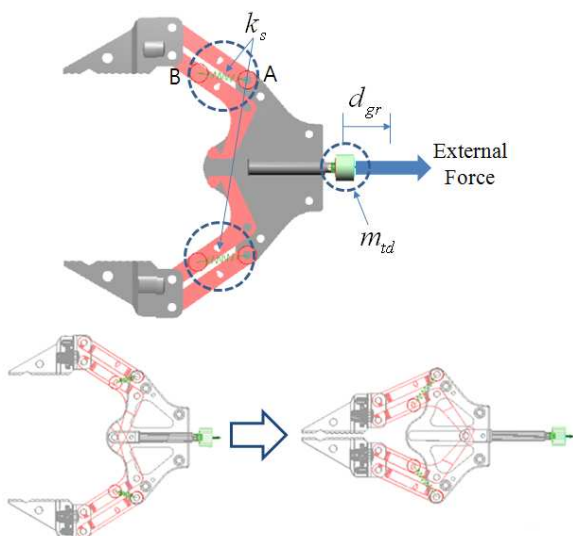


Fig. 4 Parameters and mechanical structure of the considered gripper mechanism

- ① 적정수준의 탄성을 생성하기 위하여 두 지점간의 상대 거리의 변화가 일정량 이상 발생하는 지점들을 분석 대상으로 한다.
- ② 스프링 연결을 위한 이러한 지점들은 무수히 많은 조합이 가능하나, 스프링의 한 지점은 Fig. 4의 A에 고정한 상태로 다른 한 지점의 위치만을 변화시킨다.
- ③ 그리퍼의 동작 범위는 Fig. 4의 하단에 도시된 형상들을 기준으로 한다.
- ④ 그리퍼 집게(jaw) 동작에 따른 스프링 탄성력의 변화를 고찰하는 과정에서 스프링 자체의 물성치는 고려하지 않는다.
- ⑤ 그리퍼 외부에서 일정한 힘으로 가하고 있는 장력은 조절이 가능하다.
- ⑥ 중력은 Fig. 4를 기준으로 지면의 우측 방

향으로 작용하고 있다. (Fig. 6에 제시된 좌표계를 기준으로 각 물리량의 부호를 결정하였음)

- ⑦ 그리퍼의 동작구조에 의하여  $F_y = 0$  으로 간주한다.

위의 가정에 따라 그리퍼 스프링은 A 점을 고정시킨 상태로 B 점을 링크상에서 이동시키면서, 그리퍼 동작시의 복원력을 평가하였다.

Fig. 5는 기본 자세(그리퍼가 최대로 벌어진 상태)에서 0.03 ~ 0.5 kgf 범위의 외부 장력을 그리퍼에 가한 후 순간적으로 해제하여 그리퍼 자체의 스프링 복원력을 이용하여 기본 자세로 복원하는 시뮬레이션을 수행한 결과이다. A-B 간의 거리가 가까운 경우(case#1)와 이에 비하여 A-B 간의 거리가 먼 경우(case#2, case#3)의 복원력을 각각 비교하였으며 동일 Case 내에서 그리퍼에 작용하는 외부 장력을 변화시켜가면서 각각의 경우에 대한 그리퍼의 복원력을 분석하였다. Case#1의 그리퍼 거동을 살펴보면, 외부에서 가하고 있는 장력이 일정수준 이상일 경우 복원이 불가하였으며, Case#2의 경우 스프링의 강성이 동일한 상황에서 더 큰 복원력을 발휘하였다.

시뮬레이션 결과, A-B 간의 간격이 가장 멀어지는 joint-to-joint 연결 방식(Case#3)이 동일 스프링 강성 내에서 가장 큰 복원력을 발휘하였다. 다만 스프링의 강성이 과도할 경우, 스프링의 자세 복원 이후에 다소간의 출렁임(Fluctuation)이 발생하였다. 결국, 현재의 구조상에서 스프링 연결거리를 증가시키면 더 큰 복원력을 얻을 수 있으나 과도한 강성의 스프링을 선정할 경우, 원하지 않는 상황에서 급격하게 자세가 복원되거나 그리퍼의 자세 별 복원속도의 편차가 심해지는 단점을 확인하였다. 다음 절에서는 joint-to-joint의 스프링 연결구조

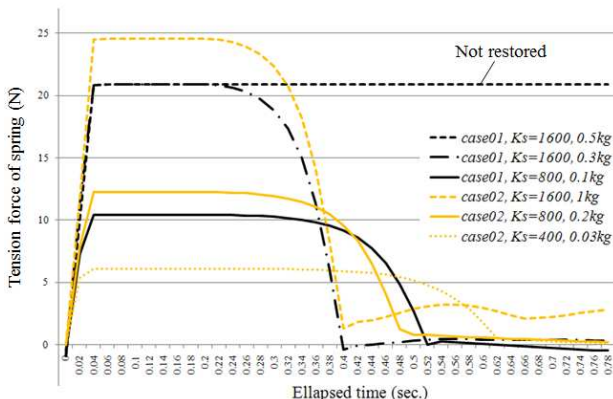


Fig. 5 Performance analysis of the gripper mechanism for the three kinds of spring connection structures

를 가지는 그리퍼 메커니즘에 대한 운동학적 영향계수를 분석하여 본 절에서 제시된 스프링 연결구조 상에서의 적정 스프링 강성을 모색해 보고자 한다.

### 3. KIC 분석을 통한 스프링 강성 선정

#### 3.1 그리퍼 메커니즘의 운동학적 영향계수 도출

본 절에서는 그리퍼의 모든 동작구간 내에서 일정수준의 그리퍼 강성 변화량을 유지하기 위하여 스프링의 길이 변화에 대해서 그리퍼를 당기는 유효힘의 변화율이 0이 되는 스프링 강성  $k_s$ 를 찾는 것을 목표로 한다. Fig. 6에서 파라미터 및 좌표계를 이용하여 C의 위치를 표현하면,

$$x = r_1 \cos(90 - \theta) + r_3 \sin(-180 + \theta_m + \theta) = r_1 \sin \theta + r_3 (\sin \theta_m \cos \theta + \cos \theta_m \sin \theta) \quad (1)$$

$$y = r_1 \sin(90 - \theta) + r_3 \cos(-180 + \theta_m + \theta) = r_1 \cos \theta + r_3 (\cos \theta_m \cos \theta - \sin \theta_m \sin \theta) \quad (2)$$

$r_1, r_2$ 는 4절 링크의 각 변의 길이이며,  $\theta$ 는 그리퍼 동작에 의해 변형되는 4절 링크부의 인접 두 변 간의 각도 변화,  $\theta_m$ 은 4절 링크 및 장력구동부 간의 동력을 전달해주는 bar의 형상 정보로서 4절 링크의 한 변과 직접 연결되어 있는 bar의 각도를 의미하는 상수이다. 식 (1), (2)에 코사인 법칙을 사용하여 수식을 정리하면 아래와 같이 표현된다.

$$\sin \theta = \left( 1 - \left( \frac{r_4^2 - r_1^2 - r_2^2}{-2r_1 r_2} \right)^2 \right)^{0.5} = A \quad (3)$$

$$\cos \theta = \frac{r_4^2 - r_1^2 - r_2^2}{-2r_1 r_2} = B \quad (4)$$

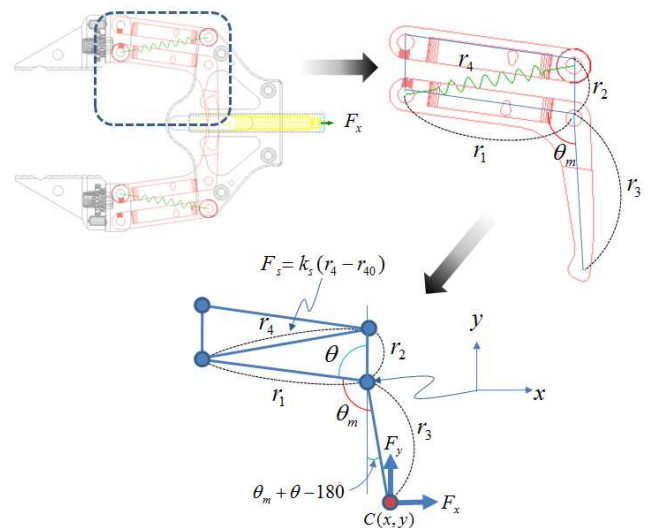


Fig. 6 Considered coordinate system and variations for KIC analysis of gripper system

식 (1), (2)의 C(x,y) 위치값을 시간에 대해서 미분하면

$$\dot{x} = 0.5 * \left( \left( 1 - \frac{r_4^2 - r_1^2 - r_2^2}{-2r_1r_2} \right)^2 \right)^{-0.5} * 2 * \left( \frac{r_4^2 - r_1^2 - r_2^2}{-2r_1r_2} \right) * \left( -\frac{r_4}{2r_1r_2} \right) * \dot{r}_4 + r_3 \sin \theta_m * \left( -\frac{r_4}{r_1r_2} \right) * \dot{r}_4 \quad (5)$$

식 (5)의 우변은  $\dot{r}_4$ 에 관한 식으로 정리가 가능하며,  $\dot{r}_4$ 와 곱해진 항을 하나의 변수로 치환할 수 있다.

$$\dot{x} = g_{r_4}^x * \dot{r}_4 \quad (6)$$

$g_{r_4}^x$ 는 1 차 운동학적 영향계수(1st order kinematic influence coefficient)이며 이를 통해 그리퍼 끝 단의 x 축 방향 변위와, 링크 사이에 설치된 스프링 사이의 직접적인 관계식을 도출할 수 있다. 한편, 그리퍼 끝 단에 작용하는 유효힘을  $F_p$ , 스프링력을  $F_s$ , 스프링 강성을  $k_s$ , 스프링의 초기 길이를  $r_{40}$ 라 하면 그리퍼 끝 단의 유효힘의 변화율과 스프링 강성 사이의 관계식은 식 (7)과  $g_{r_4}^x$ 의  $r_4$ 에 대한 미분 값인  $h_{r_4}^x$ 를 사용하여 식 (8)과 같이 유도할 수 있다.

$$F_p = F_s + g_{r_4}^x F_x + g_{r_4}^y F_y \quad (7)$$

$$\frac{\partial F_p}{\partial r_4} = \frac{\partial F_s}{\partial r_4} + h_{r_4}^x F_x + h_{r_4}^y F_y \quad (8)$$

$h_{r_4}^x$ 는 1st order Kinematic influence Coefficient 를 미분한 2nd order Kinematic influence Coefficient 이다.  $h_{r_4}^x$ 는 식 (9)와 같이 표현된다.

$$h_{r_4}^x = (r_1 + r_3 \cos \theta_m) * (-0.5) * \left( 1 - \left( \frac{r_4^2 - r_1^2 - r_2^2}{-2r_1r_2} \right)^2 \right)^{-1.5} * \left( 2 * \left( \frac{r_4^2 - r_1^2 - r_2^2}{-2r_1r_2} \right) \right) * \left( -\frac{r_4}{2r_1r_2} \right) * \left( \frac{r_4^2 - r_1^2 - r_2^2}{-2r_1r_2} \right) * \left( -\frac{r_4}{2r_1r_2} \right) * \dot{r}_4 + \left( 1 - \left( \frac{r_4^2 - r_1^2 - r_2^2}{-2r_1r_2} \right)^2 \right)^{-0.5} * \left( -\frac{r_4}{r_1r_2} \right) * \left( -\frac{r_4}{r_1r_2} \right) * \dot{r}_4 + \left( 1 - \left( \frac{r_4^2 - r_1^2 - r_2^2}{-2r_1r_2} \right)^2 \right)^{-0.5} * \left( \frac{r_4^2 - r_1^2 - r_2^2}{-2r_1r_2} \right) * \left( -\frac{1}{r_1r_2} \right) * \dot{r}_4 + r_3 \sin \theta_m \left( -\frac{\dot{r}_4}{r_1r_2} \right) \quad (9)$$

한편, 식 (9)의 우변의 3 항, 9 항 및 13 항의 실수 제곱근이 존재하기 위해서는 아래의 조건이 만족되어야 한다.

$$1 - \left( \frac{r_4^2 - r_1^2 - r_2^2}{-2r_1r_2} \right)^2 \geq 0 \quad (10)$$

따라서, 위의 식을 통하여 아래와 같은 조건을 도출할 수 있다.

$$r_4 > 0.036 \quad (11)$$

최종적으로 스프링의 변화에 따른 그리퍼 끝 단 C(x,y)에 작용하는 유효힘  $F_p$ 의 변화율이 일정해야 하므로 식 (8)의 우변은 0 이 되어야 한다.

$$\frac{\partial F_p}{\partial r_4} = \frac{\partial F_s}{\partial r_4} + h_{r_4}^x F_x + h_{r_4}^y F_y = 0 \quad (12)$$

여기서

$$F_s = k_s (r_4 - r_{40}) \quad (13)$$

이므로 식 (12)를 정리하면,

$$\frac{\partial}{\partial r_4} (-k_s (r_4 - r_{40})) + h_{r_4}^x F_x + h_{r_4}^y F_y = 0 \quad (14)$$

$$k_s = h_{r_4}^x F_x + h_{r_4}^y F_y$$

$F_x, F_y$ 는 각각 모터 구동력과 기구적 구속조건을 통해 도출할 수 있는 값이므로 식 (14)를 계산하면 그리퍼의 유효 강성을 계산할 수 있다.

### 3.2 그리퍼 스프링 강성 변화 시뮬레이션 및 분석

시뮬레이션을 위한 그리퍼의 초기 동작조건은 Table 1과 같이 설정하였으며 초기 입력힘의 경우, 실제 시스템의 요구 파지력을 고려한 적정 구동조건을 실험을 통해 선정하였다. 스프링의 길이 변화율은 -0.075 ~ 0.01 범위에서 적용하였으며, 이러한 강성 변화율 범위는 그리퍼 모델의 동역학적 시뮬레이션을 통해 취득한 것이다.

Fig. 7은 전 절에서 도출된 수식을 바탕으로 그리퍼 동작구간에 내에서 그리퍼 강성의 변화에 대한 스프링 길이 변화율의 관계를 도출한 결과를 도시하고 있다. 그래프 축 상의 강성의 부호가 음(-)인 것은 좌표계 상의 방향성이 고려된 연산 결과이므로, 제시된 강성의 절대적인 크기만을 고려하기로 한다.

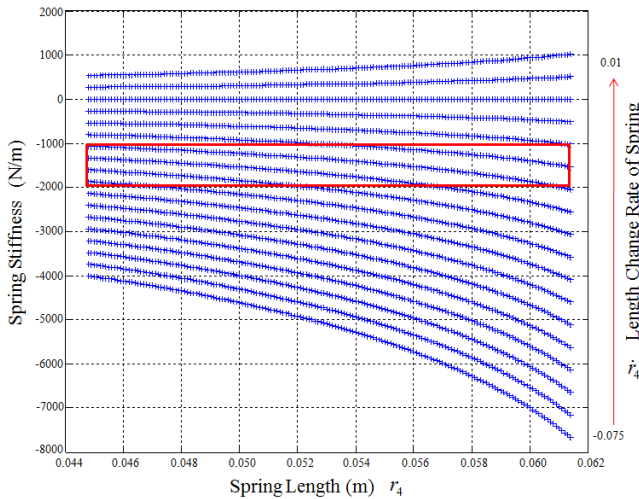
이와 같은 상관관계를 통하여 설계자는 그리퍼



**Table 1** Experimental setup for gripper parameters

	Values	Remarks
$r_1$	52 mm	Fixed size of gripper
$r_2$	16 mm	Fixed size of gripper
$r_3$	42.7 mm	Fixed size of gripper
$r_4$	36 ~ 61.4 mm	Variable spring length
$\theta_m$	98 deg.	Fixed size of gripper
$F_x$	700 N	Input force for grasping

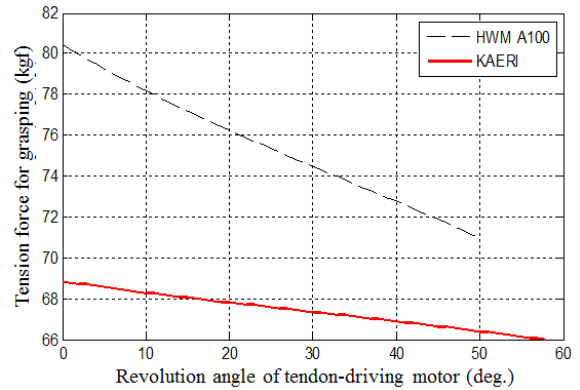
(Input)  $F_x = 700\text{ N}, F_y = 0$



**Fig. 7** Variation of spring stiffness for the variation of spring length in the joint-to-joint spring mechanism

동작구간 내에서 허용하는 스프링 변화율 (과지동작을 위한 장력 변화율 또는 동작 해지시의 자세복원 속도)에 대한 적정 그리퍼 강성을 결정할 수 있다. 즉 Fig. 7의 결과에서 확인할 수 있듯이, 그리퍼 스프링의 강성을 낮출수록 장력구동 와이어에 대한 그리퍼의 복원력이 일정 수준 내에서 유지되나, 절대적인 복원력의 크기는 감소하므로 시스템의 요구사양(그리퍼 사이즈, 복원속도 및 동작범위 등)에 따라 위의 결과를 기준으로 그리퍼에 적용할 스프링에 대한 강성 및 동작 구간별 스프링 신장 변화율을 정량적인 범위 내에서 선정하여야 한다.

본 연구에서는 기본적인 그리퍼의 복원성능을 보장하면서 전 동작구간에서 스프링 강성이 일정하게 유지될 수 있는 강성치를 선정하기 위하여 시뮬레이션을 통한 사전 분석을 통해 적정 스프링 강성 구간(Fig. 7의 사각영역)을 설정하고, 실제 구현된 그리퍼 시스템 복원 성능을 반복



**Fig. 8** Performance comparison of developed gripper systems for the tension force for grasping

실험하여 최종적으로 스프링의 강성을  $k_s=1760\text{ N/m}$ 로 선정하였다. Fig. 8은 실제 개발된 매니플레이터에 적용된 그리퍼 시스템 및 스프링 메커니즘에 대하여, 구동력을 제공하는 모터의 회전각에 따른 그리퍼 장력 변화를 측정된 결과를 나타내고 있다. 동일한 매니플레이터를 대상으로 하여 본 연구에서 제시된 그리퍼(KAERI) 및 이와 유사한 성능과 제원을 가지는 상용 그리퍼(HWM社 A100 모델 부속 그리퍼<sup>(10)</sup>)를 각각 적용하여 실험한 결과, 본 연구에서 제시한 스프링 강성을 적용한 그리퍼 시스템이 전체 동작 구간 내에서 더 적은 장력변화를 보였다. 이러한 경향은 과지동작 해지시의 거동에서도 동일하게 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 장력구동방식의 서보식 원격조작기에 적용되는 자동복원 메커니즘 기반 그리퍼 시스템의 스프링 적용방안을 고찰하였다. 먼저 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 스프링의 결합 위치에 따른 다양한 경우의 조합에 대한 스프링 복원력 및 그리퍼의 거동을 확인함으로써, 본 메커니즘의 구조상 복원력 측면에서 가장 유리한 joint-to-joint 연결 방식을 선정하였다. 또한, 본 연구에서 제시된 서보식 조작기의 안정적인 구동을 위하여(그리퍼 과지동작의 갑작스러운 해지를 통해 모터 구동 제어가 불안정해지는 현상을 방지하기 위하여) 전 동작 구간에 대한 그리퍼 강성 변화율을 최소화할 수 있는 스프링 강성 선정 기법을 제안하였다. 이를 위해 그리퍼의 스프링 메커니즘에 대한 운동학적 영향계수를 도출하여 그리퍼의 전 운동구간에 대한 스프링 강성과 그리퍼 거동간 관계를 규명하였다. 이러한 과정을 통하여 설계자는 그리퍼 사양 및 작업 요구사항에 부합하는 적정 스프링

강성을 선정할 수 있다. 향후에는 본 연구에서 제시한 매니플레이터의 그리퍼 시스템에 대하여 동일 강성 또는 서로 다른 강성의 스프링들을 조합, 연결하여 다양한 동작 조건에서의 그리퍼 성능을 고찰해 보고자 한다.

### 참고문헌

- (1) Vertut, J. and Coiffet, P., 1985, *Teleoperation and Robotics – Evolution and Development*, Hermes Publishing, pp. 15~19.
- (2) Yu, S. N., Kim, S. H., Lee, H. J., Lee, J. K., Park, B. S. and Kim, K. H., 2011, "Assessment of Remote Handling Tasks for Pyroprocessing Equipment," *Spring Annual Conference of Korean Society for Precision Engineering*, pp. 515~516.
- (3) Annual Project Report, 2009, "Development of System Engineering Technology for Nuclear Fuel Cycle," *KAERI/RR-3145/2009*.
- (4) Park, B. S., Lee, J. K., Lee, H. J., Yu, S. N. and Kim, K. H., 2011, "Remote Modular Design for a Bridge Transported Dual Arm Servo-Manipulator Applied in Pyroprocessing Facility," *Int. Conf. on Informatics in Control, Automation and Robotics*, pp. 1708~1711
- (5) Lee, J. K., Lee, H. J., Park, B. S., Yu, S. N., Kim, K. H. and Kim, H. D., 2011, "Bilateral Control of Master-Slave Manipulator System Using Time Delay Control," *Int. Conf. on Informatics in Control, Automation and Robotics*, pp. 37~42.
- (6) Lee, J. K., Lee, H. J., Park, B. S., and Kim, K. H., 2012, "Bridge-Transported Bilateral Master-Slave Servo Manipulator System for Remote Manipulation in Spent Nuclear Fuel Processing Plant," *Journal of Field Robotics*, Vol. 29, No. 1, pp. 138~160.
- (7) Yu, S. N., Lee, J. K., Lee, H. J., Kim, S. H., Park, B. S., Kim, K. H. and Kim, H. D., 2011, "Assessment of Remote Disassembly Task for BDSM (Bridge transported Dual Arm Servo-Manipulator)," *Korean Radioactive Waste Society, Autumn Annual Conference*, pp. 105~106.
- (8) Tesar, D. and Tosunoglu S., 1991, "Advanced Robotics for Mechanical Engineers," *Lecture note, Dept. of Mechanical Engineering, University of Texas-Austin*.
- (9) Lee, J. K., Park, B. S., Lee, H. J., Yu, S. N., Kim, K. H. and Kim, H. D., 2011, "Performance Improvement of Mechanical Part of Remote Handling Servo-Manipulator System for PRIDE Facility," *Korean Radioactive Waste Society, Spring Annual Conference*, pp. 125~126.
- (10) Internet Website: <http://www.hwm.com/12-1-Master-Slave+Manipulator+Typen+A100.html> (Accessed 22 May 2012)