

HCF 용 스트럿의 개선을 위한 연구 - Motorized Strut & Digital Gage

A Study on the Improvement of the Strut for the HCF - Motorized Strut & Digital Gage

심형준(한양대원 기전공학과), 한창수(한양대)

Abstract

Two ways of improvement of the strut for the HCF was made in this paper. The strut for the existing HCF is a passive link, which results the posture of the HCF and related bones. The accuracy of the HCF depends on the accuracy of the strut length. A "digital gage" was proposed to increase the accuracy of the strut by presenting the measuring result as figures in manual mode operation. And a "motorized strut system" was designed for the automated HCF operation. A strut was equipped with a motor, "motorized strut" can be operated manually and automatically. In automatic mode, the HCF operating data is generated by the HCF schedule package in PC and is downloaded to the "motorized strut system" controller. By these two improvements, changes in orthopedic equipments like HCF and other Ilizarov fixators are expected.

1. 서론

HCF 는 Hexapod Circular Fixator 의 약자로 6 개의 다리 즉, 스트럿(strut)으로 기구가 구성됨으로써 붙여진 명칭이다. 또한, HCF 의 일반적인 명칭은 Ilizarov fixator, Ilizarov frame 등으로 알려져 있다. 정형외과에서 사용하는 의료용 기구의 하나인 HCF 는 골 연장술, 골 및 연부조직의 변형 교정, 골 결손의 치료 등 여러 정형외과 영역에서 광범위하게 사용되는 체외 고정기의 한 종류

이다[1], [2]. 현재 다양한 종류의 체외 고정기가 사용되고 있지만, 복잡한 사지변형의 교정 및 신경손상의 위험을 줄이는 미세교정을 위하여 6 자유도 체외 고정기인 HCF 가 사용되고 있다.

HCF 는 용도를 떠나 기구 자체만을 보면, 일반적으로 스튜어트 플랫폼(Stewart platform)[3]으로 알려진 병렬기구이다. 스튜어트 플랫폼 형태의 기구는 높은 강성을 가지며, 정밀한 위치 및 자세제어가 가능하므로, 이러한 특징을 이용하여 정형외과용 의료기기인 체외 고정기로 응용되고 있다. HCF 를 구성하는 스트럿의 길이를 조절함에 따라 HCF 의 상판과 하판간의 상대위치 및 자세가 변하게 되므로, 상판과 하판은 각각 치료를 요구하는 뼈에 고정되며 HCF 를 조절함에 따라 골 연장, 연부조직 변형교정, 골 결손 치료 등의 목적을 달성할 수 있다.

하지만, 현재 HCF 의 경우, 스트럿이 구동능력을 갖지 못하므로 수동으로 스트럿의 길이를 조절하여 원하는 위치와 자세를 구현하고 있다. 또한, 조정되는 스트럿의 길이는 스트럿에 표시된 눈금을 읽음으로써 측정되고 있다. 이러한 수동 조작과 정밀도가 낮은 길이의 측정은 HCF 의 조작에 좋지않은 결과를 가져올 수 있다.

HCF 와 같은 병렬기구는 각 스트럿의 길이 조절에 따른 결과를 직관적으로 파악하기 어렵다. 또한, 이러한 문제점 때문에 스트럿 길이의 오차로 인해 발생하는 HCF 의 오차도 예상하기 힘들다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 HCF 의 단점을 보완하고, 개선하고자 motorized strut 및 digital

gage 를 개발하였다. 그 결과 스트럿의 자동으로 조정이 가능하도록 하였으며, 수동 조정의 경우에도 보다 정밀한 길이 측정결과를 손쉽게 얻을 수 있도록 하였다.

2. Digital Gage

HCF 의 스트럿의 개선을 위한 첫번째 연구로 그 길이 측정을 정확하고 손쉽게 할 수 있는 디지털 게이지를 연구하였다. 디지털 게이지는 측정된 길이를, 기존의 스트럿과 달리 눈금이 아닌 디지털 숫자로 표시한다는 특징에서 붙여진 이름이다. 디지털 게이지는 기존의 스트럿과 같이 수동으로 길이를 조절하는 일반적인 스트럿에 적용되어 진다.

우선, 디지털 게이지에 대한 연구와 계속 이어질 모터구동 스트럿에 대한 내용에 앞서 연구의 대상이 되고 있는 기존 스트럿에 대하여 소개한다. HCF 를 구성하는 스트럿은 HCF 의 상판과 하판을 연결하는 다리이며, 그 길이를 조정함에 따라 HCF 의 형태가 변화하게 된다. 스트럿은 스크류를 이용한 길이 조정 기구로 구성되어 있다. 조정 손잡이를 회전시키면 연결된 스크류가 회전하게 되며 스크류에 연결된 스트럿의 이동부분이 가이드를 따라 직선운동을 하여 길이를 변화하게 된다. 이것은 일반적인 직선운동 기구의 응용으로 볼 수 있다.

스트럿은 앞서 설명한 바와 같이 각각 상판 및 하판에 연결되는 고정부분과 이동부분 그리고 길이 조정을 위한 손잡이로 구성된다. 기존 스트럿의 길이측정에 사용되고 있는 눈금은 스트럿의



[그림 1] 기존 스트럿

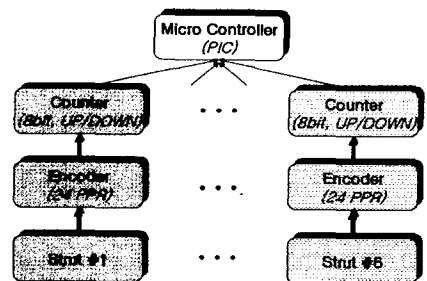
이동부분에 표시된 것으로 1mm 단위의 눈금이 스트럿의 축방향으로 표시되어 있다. 길이 조정 손잡이를 회전시켜 이동부분이 운동하게 되면 스트럿의 고정부분을 기준으로 눈금을 읽어 스트럿의 길이를 측정하게 된다.

길이 측정방법은 마이크로미터와 유사하다고 생각할 수 있지만, 마이크로미터에 사용되는 것과 같은 원주상의 눈금이 스트럿에서는 존재하지 않으므로 길이 측정은 전적으로 축방향의 눈금만을 기준으로 하여 이루어지게 된다.

실제로 HCF 를 사용하여 치료를 할 경우, 이미 밝힌 바와 같이 HCF 의 운동을 직관적으로 파악하기 어려우므로 HCF 를 운영하기 위한 전용 소프트웨어 패키지에서 얻어지는 정보를 기준으로 각 스트럿의 길이를 조정하게 된다. 이러한, 스트럿의 길이 정보는 보통 0.1mm 단위의 길이를 제공하고 있지만, 눈금을 가진 기존 스트럿을 이용하는 경우 주어지는 길이로 정확히 조정하기에 어려움을 갖고 있다. 따라서, 본 논문에서 다루고 있는 디지털 게이지와 같은 기능이 요구되어 진다.

이번 연구를 통해 개발된 디지털 게이지는 HCF 용 소프트웨어 패키지에서 제공하는 것과 같이 0.1mm 단위의 측정치를 숫자로 직접 제시하고 있다. 이러한 디지털 게이지는 다음 [그림 2] 와 같이 구성되었다.

스트럿의 길이 측정을 위하여 고려된 센서는



[그림 2] 디지털 게이지 구성도

다음 [표 1]과 같은 종류들이다. 각각의 센서는 [표 1]에 정리된 것과 같은 특징들을 갖는다. 이러한 내용을 기준으로 스트럿에 적합한 센서를 선정하였다. 센서를 선정하기 위하여 물리적인 크기 및 형태, 정밀도, 가격 등의 요소들을 고려하였다[4].

스트럿에 적용될 센서는 센서가 스트럿에 설치되면서도 가능한 기존의 크기를 벗어나지 않도록 하기 위해서 크기와 형태를 가장 중요한 기준으로 선정되었다. 포텐서미터와 LVDT, 절대치 인코더 등의 경우 절대치가 측정결과로 얻어진다는 점에서 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있는 점이 스트럿의 길이 측정에 적합한 센서로 고려되었지만, 형태면에서 기존의 스트럿을 크게 변형시키는 문제로 인하여 선정되지 못하였다. 따라서, 스트럿의 길이 측정은 증분형 회전 인코더를 사용하였다.

인코더 신호는 디지털 게이지를 구성하는 카운터에서 계수 된다. 디지털 게이지의 컨트롤러는 주어진 주기에 따라 카운터의 값을 입력 받아 계수 값을 길이 값으로 변환하여 표시하는 한편, 현재 길이를 보존하여, 다음 측정 때 얻어지는 상대적인 측정치로부터 스트럿 길이의 절대치를 계산할 수 있도록 한다.

3. Motorized strut

HCF의 개선을 위한 두번째 연구로 HCF를 구성하는 스트럿을 모터를 이용하여 구동하도록

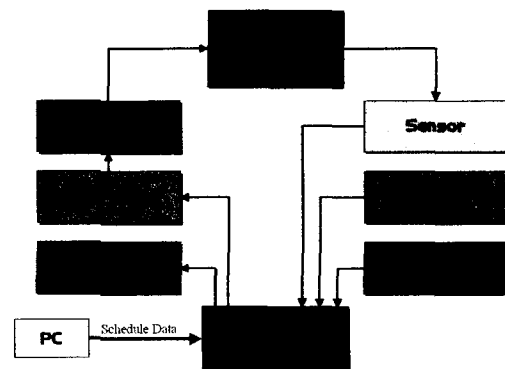
[표 1] 길이 측정용 센서의 비교

	Encoder		Potentiometer		LVDT
	회전형	직선형	회전형	직선형	
크기	○	●	●	●	●
형태	○	●	●	●	●
정밀도	○	○	○	○	○
편리성	●	●	○	○	○
가격	○	○	○	○	●

○ - 적합, ● - 부적합

하였다. 이것은 Motorized strut 또는, 모터구동 스트럿이라고 부른다. 기존의 스트럿은 앞서 설명한 바와 같이 별도의 구동장치 없이 수동조작으로 스트럿의 길이를 조정하고있다. 이러한 스트럿에 구동장치를 추가하여 HCF를 자동으로 구동 및 조정하기 위하여 모터구동 스트럿을 개발하였다.

모터구동 스트럿은 위에 설명한 디지털 게이지의 기능을 포함하고 있으며, 보다 높은 정밀도의 스트럿 길이를 측정할 수 있다. 또한, HCF 운영 소프트웨어 패키지로부터 제공되는 데이터를 이용하여 의사 등의 조작자의 개입이 없이 직접 HCF를 구동하는 시스템으로 확장 시키는 것이 가능하다. 이러한 기본적인 장점보다 더 주목할 장점은 다이내미제이션(dynamization)의 구현이 가능하다는 것이다. 다이내미제이션은 뼈의 형성에 도움을 준다고 알려진 동적인 기계적 자극을 말한다[5]. 이러한 기계적 자극은 새로운 뼈가 생성되고 있는 뼈의 양단간에 반복적인 거리의 변화를 줌으로써 구현될 수 있다. 기존의 HCF와 같이 수동으로 조작되는 기구를 사용할 경우 반복적인 기계적 자극을 주기 위해서는 HCF를 구성하는 6개의 스트럿을 짧을 시간동안 반복적으로 회전, 역회전 시켜 길이를 변화시켜 주어야 한다. 하지만, 이러한 조작은 수동으로 구현할 수 없는 것이다. 따라서, 모터구동 스트럿의 가장 큰 특징



[그림 3] 모터구동 스트럿의 구성

은 사용의 편리성이나 높은 정밀도 보다는 다이 나미제이션의 구현이라고 할 수 있다.

앞의 [그림 3]은 모터구동 스트럿 시스템의 구성을 보이고있다. 전반적으로 일반적인, 서보모터를 이용한 위치제어 시스템과 같은 구성을 하고 있다. 모터구동 스트럿 시스템에 관한 연구에서는 모터의 제어, 위치제어 등과 같은 문제는 앞서 지적인 바와 같은 일반적인 서보 시스템을 따르고있다[6]. 본 연구에서 주목이 될 부분은 기존 스트럿에 모터를 부가하기 위한 기구의 구성과 모터의 선정에 관한 내용이다.

모터구동 스트럿 시스템에 적용된 모터 역시, 디지털게이지의 경우와 마찬가지로 모터의 크기와 형태, 또한 무게 등의 물리적인 요소가 주요 선택 기준으로 적용되었다. 이는, HCF가 이미 사용되고 있는 의료기구이며, 이를 개선하는 것을 목표로 하는 연구이기 때문이다. 또한, HCF의 크기나 무게의 증가는 직접적으로 HCF를 사용하는 환자에게 부담이 되는 것이므로, 그러한 부담을 최소화하기 위해서 이다.

스트럿을 구동하기 위한 모터는 다음의 [표 2]와 같은 고려를 통하여 선정되었다. 축 방향 하중은 필요한 모터의 토크를 결정하기 위한 기준으로 사용되었다. 기본적으로 환자의 체중으로부터 도입된 기준이며, 스트럿이 HCF가 아닌 편측 고정기로 사용될 경우에도 사용할 수 있을 것을 목표로 하였다.

환자의 부담을 줄이기 위하여 스트럿과 모터는 분리가 가능하도록 설계하였다. 모터는 모듈 형태로 구성하여 교정, 신장, 다이내미제이션 등

[표 2] 모터 선정 기준

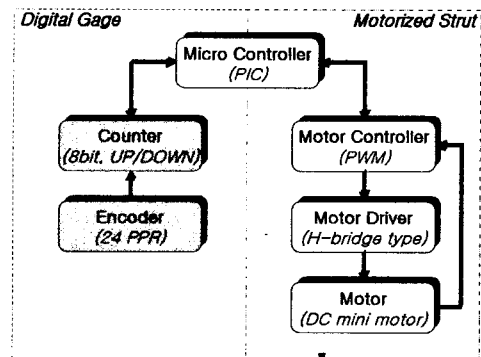
항목	내용	비고
축 방향 하중	120kgf	각 스트럿 당
작동 속도	1mm/s	
작동 전압	12V 이하	직류
회전 검출	Encoder	

과 같은 치료활동이 필요한 경우에만 장착하여 스트럿을 구동하도록 함으로써 평상시 환자에게 부담되는 무게가 기존의 HCF와 다르지 않도록 하였다.

모터를 분리하는 형태로 설계하면서 지적된 문제는 6개의 스트럿과 6개의 모터모듈이 매번 연결될 때마다 그 조합이 틀리지 않아야 한다는 것이다. 만약, 스트럿과 모터모듈이 틀린 조합을 하게 될 경우, HCF의 구동 결과는 전혀 예측할 수 없게 된다. 따라서, 모터 ID라고 명명한 확인 방법을 연구하여 적용하였다.

모터 ID는 6쌍의 스트럿과 모터가 잘못된 조합이 이루어지지 않도록 하는 역할을 한다. 스트럿과 모터모듈에 돌출부와 함몰부를 조합하여 각각의 쌍이 올바르게 조합될 때만 스트럿과 모터가 결합될 수 있도록 하였다. 실험을 통해 제작된 모터구동 스트럿 시스템에서는 8쌍의 스트럿, 모터모듈을 구별할 수 있는 3점으로 구성된 ID를 실험하였지만, 실제로 다수의 HCF를 복합적으로 사용하여 시술하는 경우도 있으므로 3점 이상의 ID를 필요로 할 것으로 예상된다.

모터구동 스트럿 시스템의 제어기의 큰 특징은 PC와의 데이터 통신 기능을 가지고있는 것으로, 이는 HCF 운영 소프트웨어 패키지로부터 얻어지는 스트럿 길이 데이터를 PC로부터 다운로드하여 스트럿을 구동할 수 있도록 하기위한 것이다. 현재 사용되고있는 HCF 운영 소프트웨어



[그림 4] 실험장치 구성도

패키지는 치료가 완료되는 시점까지의 HCF의 궤적을 미리 산출하여 그 과정을 구현하기 위한 스트럿의 길이를 정해진 계획에 따라 제공하고 있다. 따라서, 이러한 스트럿 길이 계획 정보를 치료 초기에 모터구동 스트럿 시스템의 제어기로 다운로드하여 HCF를 구동한다면, 조작자에 의하여 운영하는 것보다 훨씬 좋은 경과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

4. 실험

이상 다룬 내용과 같이 디지털 게이지와 모터구동 스트럿을 평가하기 위하여 시제품이 제작되었다. 앞서 설명한 디지털 게이지와 모터구동 스트럿 시스템은 서로 공통적인 기능과 역할을 가지고 있으므로, 두 가지 개선안이 동시에 사용되지는 않을 것으로 예상된다. 즉, 디지털 게이지는 모터구동 스트럿 시스템에 포함되는 개념으로, 모터구동 스트럿 시스템에서 별도의 디지털 게이지를 사용하지는 않을 것임을 말하고 있다.

하지만, 실험을 위해 제작된 스트럿은 디지털 게이지와 모터구동 스트럿 시스템에 모두에 필요한 요소를 갖추고 있다. 이러한 요소는 형태면에서 차이를 보일 뿐이므로 각각의 기능 및 역할을 실험하는데 서로 영향을 주는 것은 없다고 판단되었다.

앞의 [그림 4]는 실험용 시스템의 구성을 보



[그림 5] 실험용 모터구동 스트럿

이고 있다. 시스템은 하나의 제어기를 중심으로 디지털 게이지와 모터구동 스트럿이 함께 구성되었다. 실험에 따라 제어기를 제외한 각각의 시스템이 개별적으로 적용되었다.

디지털 게이지의 경우 정밀도 향상을 위해 인코더 신호에 대한 체배회로의 도입이 고려되었지만 실험결과 100 회전(100mm) 범위에서 약 0.3mm의 오차를 보이는 것으로 측정되었다. 하지만, 이 보다 더 큰 오차요인은 제어기가 작동하지 않는 상태에서 스트럿이 작동하는 경우로 스트럿에 잠금 기구 등을 추가해야 하는 필요성이 제시되었다.

모터구동 스트럿에 대한 실험은 스트럿의 부하 능력과 위치 정밀도 등을 평가하였다. 스트럿의 부하 능력면에서는 100kgf 정도의 결과를 얻어 설계 기준인 120kgf에 미치지 못함을 확인하였다. 이는 예상치 못한 마찰 등의 손실에 의한 것으로 예상되었으며 스트럿과 모터모듈 간의 연결부분이 가장 큰 손실을 가져오는 부분으로 판단되어 설계면의 보완과 모터 토크의 증가가 필요함을 확인하였다.

5. 결론

본 논문에서 다룬 HCF용 스트럿의 개선을 위한 연구들, 디지털 게이지와 모터 구동 스트럿 시스템에 관한 연구는 지금도 널리 사용되고 있



[그림 6] 실험용 제어기

는 HCF 혹은 Ilizarov fixator 의 이용과 새로운 기구의 개발에 많은 영향을 줄 것으로 예상된다. 앞서 언급한 대로 기계공학적 입장에서 보면, HCF 는 스텐드 플레이트폼의 형태로 구성되어 있지만, 구동장치(actuator)가 없는 단순한 기구로 사용되어왔다. 하지만, 본 논문에서 다루고 있는 모터구동 스트럿을 구동장치로 이용한다면, HCF 자체도 개선된 형태로 설계가 가능할 것으로 예상된다[7], [8].

실험을 통해 얻어진 결론으로는 디지털 게이지와 모터구동 스트럿의 경우 모두 의도하지 않은 길이 변화가 발생할 수 있는 가능성을 최소화될 수 있는 추가적인 기구가 필요하다. 디지털 게이지가 작동하지 않는 상태나 모터 모듈이 연결되지 않은 상태에서 발생한 스트럿의 길이 변화는 오차로 누적될 수 밖에 없기 때문에 의도하지 않은 작동을 방지할 수 있는 잠금 기구를 추가해야 할 것으로 보인다.

또한, 모터구동 스트럿 시스템의 모터 ID 기능은 본 논문에서 제시하고, 실험한 수준을 넘어 서서, 보다 능동적으로 수정할 계획을 가지고 있다. 즉, 현재와 같이 단순히 올바른 조합만을 가능하게 하는 것이 아니라, 스트럿과 모터는 임의의 상태로 연결되더라도 모터모듈이 스트럿을 인식하여 해당 스트럿에 적합한 구동을 할 수 있도록 계획하고 있다.

디지털 게이지의 경우, 실험장치와 같은 형태로 구성될 경우 실제적인 활용은 기대할 수 없을 것으로 예상된다. 디지털 게이지 자체가 스트럿에 포함되어 하나의 독립된 형태로 구성되어야만 실용성을 갖을 수 있을 것이며, 그러기 위해서는 보다 작은 크기의 센서(encoder)의 사용과 카운터, 제어기 등 회로의 ASIC(주문형 반도체)화가 필요하다고 생각한다.

끝으로, 디지털 게이지와 모터구동 스트럿을 이용한 HCF 를 적용하여 임상실험을 거친 후에 새로운 보완점과 후속 연구가 필요하게 될 것을

기대한다.

References

- [1] A.S.E. Younger, M.B., Ch.B., W.G.Machenzie, M.D., F.R.C.S.C., and J.B.Morrison, Ph.D., C.Eng, "Femoral Forces During Limb Lengthening in Children", *Clinical Orthopedics and Related Research*, Number 301, pp.55-63, 1994.
- [2] Fleming. B.Sc., D.Paley, M.D., T. Kristiansen. M.D. and M. Pope. Ph.D, "A Biomedical Analysis of the Ilizarov External Fixator", *Clinical Orthopedics and Related Research*, pp.95-105, June 1988.
- [3] D. Stewart, "A Platform With Six Degrees of Freedom", *Proc Instn Mech Engrs* 1965-66, Vol 180, Pt 1, No 15, pp. 371-386.
- [4] Joseph J. Carr, "Sensor and Circuits", PTR Prentice-Hall, 1993.
- [5] 최귀원, 최재봉, 최인호, 정진엽, "동적인 기계적 자극이 뼈의 형성에 미치는 영향", *대한기계학회 춘계학술대회논문집 A*, pp.720-725, 1997.
- [6] Richard Valentine, "Motor Control Electronics Handbook", McGraw-Hill, 1998.
- [7] Chang-Soo Han, "The Optimum Design of A 6 D.O.F Fully-Parallel Micromanipulator for Enhanced Robot Accuracy", *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol.10, No.4, pp.42-53, 1993.
- [8] E. F. Fichter, "A Stewart Platform-Based Manipulator: General Theory and Practical Construction", *The International Journal of Robotics Research*, Vol.5, No.2, pp.157-182, 1986.