

중력을 이용한 병렬 매니플레이터 구동부의 마찰력 검출

Friction Force Detection for Joints of a Parallel Manipulator Using Gravitational Force

* 이세한*, 송정규*, 송재복**, 최우천**, 홍대회**

*고려대학교 대학원 (Tel: +82-2-928-9769; E-mail:lshan@korea.ac.kr)

**고려대학교 기계공학과 (Tel: +82-2-3290-3363; Fax: +82-2-3290-3757; E-mail:jbsong@korea.ac.kr)

Abstract: Parallel manipulators have been used to a variety of applications, including the motion simulators and mechanism for precise machining. A Stewart-Gough type parallel manipulator is composed of six linear joints which have wider contact areas than revolute ones, so linear joints are more affected by frictional force. First, the reference trajectories are computed from the model of the parallel manipulator assuming that it is subject to only the gravitational force and no friction exists. In the actual operation where friction exists, the control inputs, which correspond to the friction forces, are obtained by forcing the actual joint variables to follow these trajectories by proper control. It is shown that control performance can be improved when the friction compensation based on this information is added to the controller for position control of the moving plate of a parallel manipulator.

Keywords : Stewart-Gough type parallel manipulator, friction force detection, gravitational force, friction compensation.

1. 서론

최근 병렬 매니플레이터를 모션 시뮬레이터 또는 공작기계에 응용하고자 하는 연구가 많이 수행되고 있다.[1,2] 특히, Stewart-Gough형 병렬 매니플레이터[3]는 외팔보(cantilever)에서 주로 발생하는 휨 현상을 갖지 않고, 직선방향으로만 동작하는 액추에이터를 사용하는 구조를 갖기 때문에 가벼운 중량에 비하여 높은 강성을 갖는 특징이 있다. 뿐만 아니라 기구부가 페루프를 형성하고 있기 때문에 각 액추에이터에서 발생하는 오차는 누적되지 않고 엔드이펙터에 나타나는 특징도 갖는다. 이러한 장점들 때문에 높은 지지 강성 및 정밀도를 요구하는 공작기계에서 공구 및 공작물 이송에 대한 응용이 시도되고 있다.

일반적으로 병렬 매니플레이터의 단점으로는 페루프를 형성하는 구조와 사용된 직선 액추에이터의 동작범위의 제한 때문에 작업공간이 좁아지는 점을 들 수 있다. 또한, Stewart-Gough형 병렬 매니플레이터의 경우에는, 실제 구동시 직선 액추에이터 사용에 따른 마찰력 부담이 크다. 직선 액추에이터를 사용하는 직선관절은 회전관절에 비하여 접촉부분이 많으므로 상대적으로 마찰력의 영향을 많이 받게 된다. 또한, 회전모터의 회전운동을 직선운동으로 변환할 때 주로 사용하는 볼스크류의 경우에, 나사의 구조적인 오차의 원인이 되는 백래시 등 연결부의 오차를 줄이기 위하여 의도적으로 예압을 걸어 놓는데, 이 예압 때문에 마찰력의 영향은 더욱 증가하게 된다. 특히, Stewart-Gough형 병렬 매니플레이터의 경우 동일한 형태를 갖는 액추에이터가 6개 사용되는데, 각 액추에이터의 동작 특성이 균일해야 바람직하지만, 실제 제작시의 조립조건에 따라서 특성 차이가 불가피하게 존재하며, 이 특성 차이로 인하여 각 직선관절에서의 마찰력이 달라진다. 그러므로 각 액추에이터에 존재하는 마찰력을 미리 검출하여 제어 수행시 제어 입력에 첨가한다면 제어성능의 향상을 기대할 수 있다.

마찰력 영향을 검출하는 한 가지 방법으로, 일정한 힘을 검출대상에 작용시키고, 그에 따른 움직임, 특히 가속도 등을

측정함으로써 검출대상의 마찰력을 검출할 수 있으나, 보정 문제가 발생한다. 즉, 특정한 힘을 대상 시스템에 정확하게 작용시킬 수 있는가의 여부가 매우 중요하게 된다. 그러므로 자연 상태에서 항상 일정한 힘으로 작용하는 중력을 추가 비용의 지출 없이 외력으로 사용하는 방법을 고려할 수 있다.

중력을 마찰이 없는 이상적인 병렬 매니플레이터에 작용시켰다고 가정하면, 매니플레이터의 상판은 자연스럽게 중력 방향으로 낙하할 것이다. 그러나 실제로는 마찰력이 각 직선관절마다 존재하여 상판을 이상적인 낙하속도보다 느리게 움직이게 하거나 완전히 정지시켜 버린다. 만일, 대상 병렬 매니플레이터가 마찰력이 없는 이상적인 궤적을 추종하도록 각 액추에이터를 구동한다면, 이 때 가해진 제어입력은 마찰을 극복하는 데 필요한 힘, 즉 각 직선관절에 존재하는 마찰력과 동등하다고 가정할 수 있다. 이 때, 마찰력에 해당하는 제어입력을 액추에이터의 변위에 따른 함수로 저장하였다가 실제 임의의 궤적의 추종 제어시에 첨가하여 사용한다면, 마찰력에 대한 보상이 수행되어 전체적인 제어성능은 개선될 것이다.

본 연구는 2장에서 Stewart-Gough형 병렬 매니플레이터의 특징을 간단히 언급하고, 3장에서는 중력을 사용한 마찰력 검출 기법을 기술하며, 4장에서는 실험을 통하여 검출 기법의 타당성을 입증한 다음, 5장에서 결론을 도출하기로 한다.

2. Stewart-Gough형 병렬 매니플레이터

Stewart-Gough형 병렬 매니플레이터는 움직이는 상판과 고정된 하판 사이를 6개의 직선 액추에이터(linear actuator)로 연결하여 상판이 위치 3자유도와 자세 3자유도의 총 6자유도를 갖게 된다.[4] Stewart-Gough형 병렬 매니플레이터는 일반적인 직렬 매니플레이터와는 상반된 특징을 갖는다. 즉, 직렬 매니플레이터에서는 순기구학 해가 역기구학 해보다 쉽게 얻어지는 반면에, 병렬 매니플레이터에서는 역기구학 해가 순기구학에 비해 쉽게 얻어지며, 순기구학의 경우에