

송전선로 활선 애자 청소 및 점검용 로봇 기구부의 개발

Development of Robot Mechanism for Cleaning and Inspection of Live Line Insulator

박준영*, 조병학**, 변승현***

Joon-Young Park, Byung-Hak Cho, Seung-Hyun Byun

Abstract - Power transmission lines have been playing a key role as the mainstay of national industry. When a power failure occurs, it can have severe effects on national security as well as national industry and economy. In this paper, we consider an insulator failure, which is one of the main causes of such a power failure. In spite of its importance, however, a shortage of manpower in the insulator maintenance field is getting more serious due to working environments with a high voltage and a high place. For this reason, a new active maintenance technique using a robot system is required to prevent such an insulator failure. In this paper, a new robot mechanism for insulator cleaning and inspection was developed. We confirmed its effectiveness through experiments.

Key Words : Robot Mechanism, Live-line Insulator, Insulator Cleaning, Insulator Inspection

1. 서 론

송전선은 국가기반산업의 중추를 이루고 있으므로, 이들 송전선에 고장이 발생하여 불시에 정전이 발생할 경우 산업·경제적 측면은 물론 국가 안보 측면에도 상당한 악영향을 미칠 수 있다. 하지만, 이와 같은 중요성에도 불구하고 초고압·고소에서 극한작업은 사회적인 3-D 기피 현상과 맞물려 향후 전문 인력의 확보가 어려울 것으로 전망되고 있다. 그러므로 작업 여건을 개선하여 작업자를 보호할 수 있을 뿐만 아니라, 애자 청소 작업의 효율을 향상시키는 물론 불량애자를 사전에 발견하여 불시정전 사고를 미연에 방지할 수 있는 로봇을 이용한 자동화 시스템의 개발이 매우 필요한 실정이다. 이를 위하여 본 논문에서는 송전선로 활선 애자 청소 및 점검 작업의 환경을 분석하고, 분석한 내용을 토대로 활선 애자 청소 및 점검용 로봇의 기구부를 설계하였다. 그리고 제작된 로봇 프로토타입의 실험을 통하여 설계된 로봇의 유용성을 보였다.

로봇 기구부의 설계와 제작 과정은 그림 1과 같다[1][2][3]. 본 논문에서는 이와 같은 설계 절차에 의거하여 활선 애자 청소 및 점검용 로봇의 기구부를 설계한 과정을 기술한다.

2. 작업 환경 분석

본 논문에서는 345kV 송전선로에 가장 널리 사용되는 내

저자 소개

- *韓電電力研究院 水火力發電研究所 先任研究員·工博
- **韓電電力研究院 水火力發電研究所 責任研究員·工博
- ***韓電電力研究院 水火力發電研究所 先任研究員·工碩

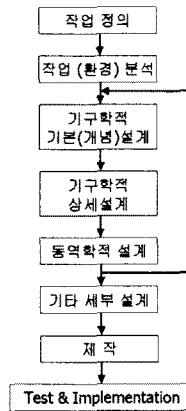


그림 1. 로봇의 설계 및 제작 과정

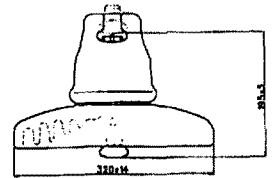


그림 2. 345kV 내장애자련 일반용 300kN 애자

장애자련 일반용 300kN 애자(그림 2)를 그 적용 대상 목표로 선정했다. 본 장에서는 로봇 기구부의 설계에 앞서, 작업 대상인 애자의 특성에 대해 살펴보도록 한다.

오손물의 부착율은 애자의 형상, 부유 오손물의 크기 및 밀도, 풍향, 풍속 등에 의해 결정된다. 오손물이 애자의 표면에 부착되는 메커니즘을 살펴보면 애자를 향한 공기의 흐름은 정체점(stagnation point)을 기준으로 나누어지는데, 공기 에 비해 큰 밀도의 오손물이 상대적으로 완만한 경로로 흐르게 된다. 이 때 밀도와 크기가 비교적 큰 오손물은 애자 표면에 달라붙게 되지만, 작고 가벼운 오손물은 떨어져 나가게 된다. 하지만, 실제 애자는 주름이나 갓을 가지는 복잡한 구조이므로 와류의 영향이 보다 크며, 이러한 와류는 애자 측면과 하면에, 특히 주름이나 갓이 깊으면 더 많이 발생한다.

3. 로봇의 기구학적 기본 설계

애자 청소 방법에는 크게 습식과 건식 청소가 있는데, 기존의 활선애자청소로봇들은 주수 세정, 즉 습식 세정 방식을 사용하고 있다. 이 방식의 가장 큰 문제점은 충분한 세정을 위하여 많은 세정수를 필요로 한다는 것이다. 이로 인해 로봇 기구부에 세정기구 및 물탱크를 장착하여야 하므로, 로봇의 경량화가 어렵다. 또한, 산악 지형이 많은 우리나라의 경우에는 작업 대상인 철타미에 있는 고지대까지 세정에 필요한 충분한 물을 공급하는 데에 사실상 어려움이 매우 많은 실정이다. 이러한 점을 고려하여 본 과제에 활선애자 청소방식으로는 건식 청소 방법을 채택하였다. 건식 청소를 위한 브러쉬로는 애자의 청소 면이 원형이라는 점과, 애자의 윗면과 달리 애자의 밑면은 오손물이 부착되기 쉬운 복잡한 형상으로 되어 있다는 점을 고려하여 회전형 브러쉬를 선택하였다.

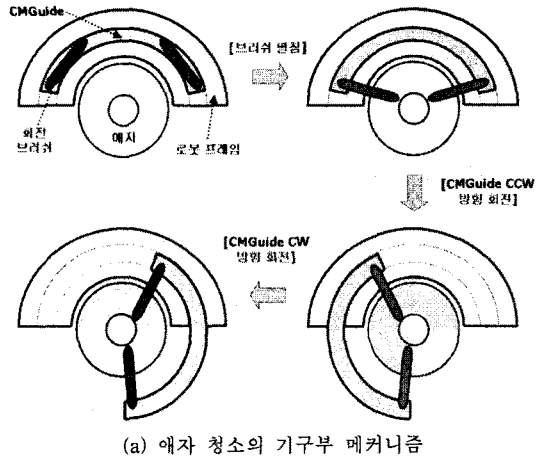
다음으로, 회전 브러쉬가 애자의 청소 면을 이동하는 데에 필요한 최소 자유도를 구해보면 애자의 청소면이 원형이라는 점에서 1자유도임을 쉽게 알 수 있다. 그러므로 회전 브러쉬가 원형의 애자면을 따라 이동하면서 청소할 수 있기 위해서는 애자면 주위로 360도에 걸쳐있는 원형의 가이드 레일이 필요하다. 하지만, 실제로 로봇을 애자면에 장착하기 위해서는 이러한 구조를 가지는 가이드 레일의 적용이 불가능하므로, 그림 3a와 같은 구조로 동작을 하는 청소 기구부를 고안하였다. 즉, 가이드 레일 대신에, 2개의 회전 브러쉬가 장착된 CMGuide(Circular Motion Guide)를 회전시킴으로써 청소 작업을 수행하는 구조로 설계하였다.

애자 간의 이동 작업은 애자면을 따라 단순히 직선 운동만을 하므로, 이동을 위한 로봇의 최소 자유도는 1 자유도이며 이를 볼스크류를 이용하여 구현하였다. 또한, 이동을 위하여 로봇을 고정부와 이동부의 두 부분으로 구성하고, 각 부분이 애자의 자기 부분을 교대로 잡으면서(Skirt Clamp 방식) 이동하도록 하였다. 이 클램핑(Clamping) 방식은 포화애자수가 2개 이내로 기존 메커니즘에 비해 절연 측면에서 우수하며, 기구부가 Frame을 겸하므로 구조가 간단해지고 로봇의 경량화가 가능한 장점을 가진다. 그림 3b는 청소 기구부와 이동 기구부의 개념을 통합 설계한 로봇 기구부의 모습을 보여준다. 그림 3b는 로봇 전체 구조의 1/2로서, 실제로는 로봇의 안정적인 구동을 위하여 이러한 구조 2개가 그림 3c와 같이 결합 기구부를 통해 결합되어 전체 로봇 기구부를 구성한다.

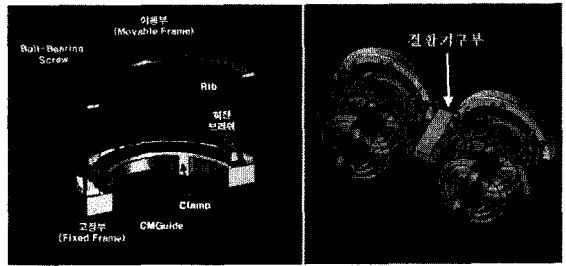
4. 로봇의 기구학적 상세 설계

4.1 이동 메커니즘의 상세 설계

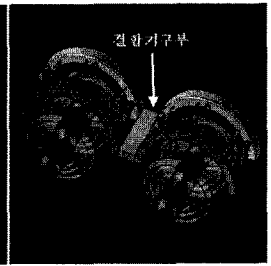
그림 4는 전술한 이동 메커니즘을 상세 설계를 통해 실제로 구현한 모습이다. 그림에서 볼 수 있듯이 이동 메커니즘은 크게 고정부, 이동부(베이스 프레임으로 이 위에 CMGuide가 장착됨), 볼스크류 구동부, 클램프 등으로 구성되어 있다. 이는 전 절의 기본 설계에서 결정된 것과 같이 볼스크류를 통해 고정부와 이동부 간의 상대 운동이 가능한 구조이다. 클램프는 RC 서보 모터를 통해 구동되는 2개의 링크 구조로서, 애자 스킨트를 잡기 위해 클램프가 완전히 닫혔을 때, 즉 클램핑할 때 2자유도의 링크가 특이점(singularity)에 빠지도록 설계하였다.



(a) 애자 청소의 기구부 메커니즘



(b) 로봇의 링 구조



(c) 전체 구조

그림 3. 로봇의 기구학적 기본 설계

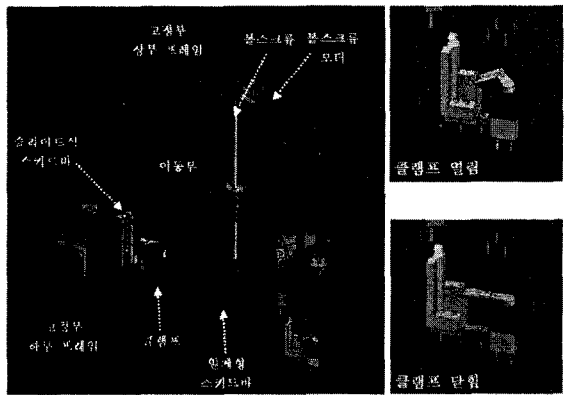


그림 4. 이동 메커니즘의 상세 설계

4.2 청소 메커니즘의 상세 설계

청소 메커니즘은 그림 5에서 볼 수 있듯이 이동부 베이스 위에서 베벨기어-평기어의 조합으로 구동되는 CMGuide, CMGuide의 움직임을 보조하는 가이드 롤러, CMGuide 위에 장착된 2개의 브러쉬와 브러쉬 수납함으로 구성된다. 브러쉬의 개폐 동작에는 RC 서보 모터를 사용하였고, 브러쉬의 회전에는 소형 DC 모터를 사용하였다.

4.3 점검 메커니즘의 상세 설계

검사 메커니즘은 그림 6과 같이 RC 서보 모터에 의해 구동되는 검출봉으로 구성되어 있으며, 검출봉을 회전시킴으로

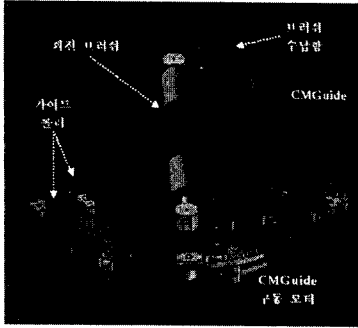


그림 5. 청소 메커니즘의 상세 설계

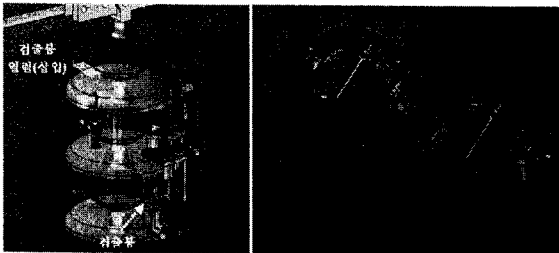


그림 6. 점검 메커니즘

그림 7. 결합 메커니즘

써 애자의 캡(cap)에 검출봉을 접촉시켜 애자의 절연저항값을 측정하도록 설계하였다.

4.4 결합기구부의 상세 설계

내장애자장치용 결합 기구부는 단순히 두 링 사이를 연결해주는 기능만 하면 되기 때문에, 그림 7과 같이 단순한 구조로 설계하였다.

5. 로봇의 동역학적 설계

5.1 재료의 선정

본 논문에서는 로봇의 골격을 이루는 고정부의 상부 프레임과 하부프레임에 관한 재료 선정만을 다루기로 한다. 다양한 엔지니어링 플라스틱의 비교·분석을 통하여 MPPO를 로봇 골격의 재료로 선택하였다. 그림 8은 MPPO가 로봇 골격으로서 적합한지를 검증하기 위한 MSC.visualNastran의 FEM 분석 결과이다. 18kg의 하중이 고정부 하단 프레임에 균일하게 가해진다고 가정하였을 때, 최대 응력 14.1MPa, 최대 변위 1.06mm의 결과를 얻었다. 이 값은 MPPO의 인장강도 118MPa의 12% 정도의 값에 불과하며, 이는 MPPO가 로봇 프레임에 적합하다는 것을 보여준다.

5.2 모터의 선정

볼스크류 구동, CMGuide의 구동, 회전 브러시의 구동을 위한 모터로는 DC 모터를 사용하였고, 각각의 구동에 필요한 토크의 계산 및 모의실험을 통해 적합한 모터와 기어를 선정하였다. 브러쉬 개폐, 불량애자검출봉 개폐, 클램프 개폐에 사용되는 모터는 정밀한 제어를 필요로 하지 않고 On/Off의 단

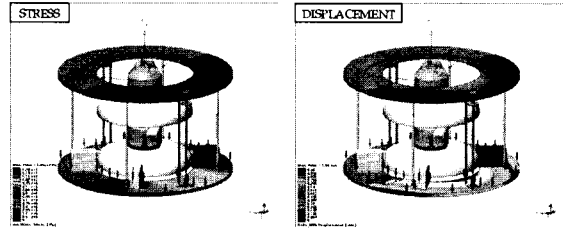


그림 8. 재료 선정을 위한 FEM 결과

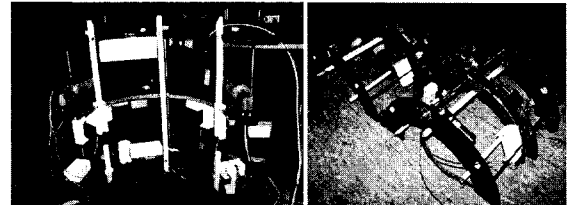


그림 9. 제작된 활선애자 청소 및 점검용 로봇 기구부

순한 동작만을 구현하기 때문에, 이러한 용도에 적합한 RC 서보 모터를 사용하였다.

6. 제작 및 시험

그림 9는 제작된 활선 애자 청소 및 점검용 로봇 기구부의 모습을 보여준다. 인공오손 애자 시료를 제작[4]하여 청소 및 점검 작업을 수행한 결과, 개발된 로봇 기구부는 주어진 작업을 성공적으로 수행함을 확인하였다.

후 기

본 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업연구개발사업에 의하여 개발 중인 송전선로 활선 애자청소 및 점검용 자동화 시스템 개발에 관한 기술개발결과임을 밝혀둔다.

참 고 문 헌

- [1] Andeen, G. B., Robot Design Handbook, McGraw-Hill Book Company, 1988.
- [2] Krishnan, A., and Khosla, P. K., "A Methodology for determining the Dynamic Configuration of a Reconfigurable Manipulator System", Proc. of 5th Annual Aerospace Applications of AI Conference, 1989.
- [3] Chang, P. H., Park, H.-S., Park, J., Jung, J.-H., and Jeon, B.-K., "Development of a Robotic Arm for Handicapped People: A Target-Oriented Design Approach," Proc. of 7th International Conference on Rehabilitation Robotics, pp.84~92, 2001.
- [4] 최인혁, 이동일, 정운환, 최장현, 송전용 애자의 신뢰성 평가 연구 (2차년도 중간 보고서), 한전전력연구원, TM.01PJ12.M2003.571.