

배전선로 점검로봇의 경량화에 관한 연구

Study on Light Weight of the Inspection Robot for Power Lines Maintenance

*#고석조¹, 김대경¹, 김진봉², 손태영³

*#S. J. Go(sjgo@dit.ac.kr)¹, D. K. Kim(kadrian@dit.ac.kr)², J. B. Kim(daehong2332@daum.net)², T. Y. Shon(tyshon@dit.ac.kr)³

¹동의과학대학 컴퓨터응용기계계열, ²(주)대흥전력, ³동의과학대학 자동차과

Key words : Inspection robot, Power line, Rapid prototype, Vacuum casting

1. 서론

전력 수송을 위해 사용되는 배전선에는 다양한 종류의 애자와 가공전선이 있다. 여기서 애자란 송배전선과 지지대와의 절연을 유지하고 동시에 기계적 강도를 지지하기 위하여 사용되는 자기로 만든 것이고 가공전선은 알루미늄 연선, 알루미늄 합금선, 구리 합금선 및 강선에 구리를 피복한 선으로 철탑과 전주에 설치한 애자에 고정시켜 팽팽하게 친 전선을 말한다. 이러한 애자나 가공전선은 대기 중에서 장시간 운용되기 때문에 대기 화합물의 접촉이나 계절의 변화에 따른 부식 그리고 열화로 인해 전력 수송에 있어 많은 손실을 가져오게 된다. 현재 시행되고 있는 배전선로의 예방진단 방법의 하나인 승주기별 점검은 인력을 이용하여 육안이나 열화상 카메라로 이상 유무를 식별하여 점검하는 방식이다[1,2]. 그러나 이 방법의 경우 연간 500억의 예산을 투입하면서도 전체 지지물의 7%만을 점검하고 있으며 고장진단 과정에서 안전사고의 발생 위험을 안고 있다.

이와 같은 방식을 대신할 수 있는 방법으로 (주)대흥전력에서는 배전선 위에 설치된 가공지선을 따라 로봇이 이동하면서 가공선로의 점검과 애자의 열화 및 부식 상태를 점검할 수 있는 배전선로 점검로봇에 대한 연구가 있었다[3,4]. 개발된 점검로봇은 한국전력공사에서 설치한 배전선로 환경을 고려해서 제작되었으며 배전선의 온도를 파악할 수 있는 열화상 카메라와 그 불량상태의 유무를 판별하기 위한 영상 획득용 CCD 카메라를 이용함으로써 고압 설비의 불량을 점검하도록 구성되었다. 그러나 배전선로 검사장치와 이동기구를 가진 점검로봇의 자체 중량이 무거워서 검사 중 전선의 처짐이 발생하였으며 처짐에 의해 주위의 다른 전선과의 접촉 등의 문제점이 나타났다. 이에 본 연구에서는 기존에 개발된 배전선로 점검로봇에 대한 구조 분석을 통해 로봇의 경량화에 대한 연구를 하고자 한다.

2. 배전선로 점검 로봇

Fig. 1은 (주)대흥전력에서 개발한 배전선로 점검로봇으로 가공지선 상에서 전선을 검사한 후 지지대를 이동하여 다음 전선을 검사하는 모습을 나타낸다. 로봇의 검사 과정은 다음과 같다. 첫 단계에서는 로봇이 가공지선 상을 주행하면서 검사과정을 수행한다. 그리고 초음파 센서와 CCD 카메라를 이용하여 가공지선 지지대를 인식하게 되면 로봇의 주행속도를 줄이거나 지지대와 일정 거리에서 로봇을 정지시킨다. 두 번째 단계에서는 로봇의 그리퍼로 지지대를 잡는다. 세 번째 단계에서는 가공지선에 매달려 있는 로봇 본체부를 가공지선으로부터 분리한다. 네 번째 단계에서는 지지대를 중심으로 로봇을 회전시켜 지지대를 넘어 간 후 가공지선에 로봇 본체를 다시 체결한다. 다섯 번째 단계에서는 지지대를 잡고 있는 그리퍼를 해제하고 다시 검사 과정을 진행한다.

개발된 점검로봇을 이용함으로써 기존의 활선 승주기별 점검 방법에서 문제가 되었던 근접 육안 검사에 따른 신뢰성 문제와 불필요한 작업등에 의한 작업자의 안전 위험 문제를 해결할 수 있다. 그리고 불량부분에 대한 검출기법을 온도와 전자파 잡음을 병행하여 점검함으로써 점검의 신뢰성을 한층 제고할 수 있다[3,4]. 그러나 가공지선 상의 주행과 지지대를 이동하는 과정에서 35kg인 점검로봇의 무게로 인해 전선의 처짐 문제와 지지대 이동 시 로봇 자체의 흔들림을 유발하였다. 따라서 본 연구에서는 다양한 규격의 전선에 대응하고 무게에 따른 처짐



Fig. 1 Robot for power lines maintenance

문제를 해결하기 위해 로봇의 무게에 따른 전선의 처짐량을 이론적으로 해석하고 이를 이용하여 로봇의 각 부품에 대한 경량화를 하였다.

3. 배전선로 점검 로봇의 경량화

3.1 처짐 해석

본 연구에서는 로봇의 경량화에 앞서 로봇이 가공지선 상을 주행할 때의 처짐에 대한 이론적인 해석을 하였다. 처짐 해석에서는 주어진 문제 조건을 전주 간 거리 50m, 전선 단면적 22mm², 구리의 탄성계수 120MPa, 단위길이 당 전선의 무게 0.174kg/m로 설정하였으며 로봇의 목표무게를 15kg으로 하였을 경우 전선의 최대 처짐을 계산하였다.

해석절차를 간단히 하기 위해 전신주가 있는 위치를 지지점으로 하여 전선이 보의 형태로 위치하는 양단지지보로 가정하였다. 그리고 실제 작업에서 처짐이 가장 크게 나타나는 지점에 대해서 해석을 해야 하므로 로봇의 무게가 전신주 사이의 중간위치에서 집중하중으로 작용하는 경우를 해석하였다. 따라서 처짐이 발생하는 경우는 전선의 자체무게에 의한 처짐 δ_1 , 전신주가 전선을 당겨주는 인장하중에 의한 처짐 δ_2 , 로봇무게에 의한 처짐 δ_3 로 나타난다. 여기서 δ_2 는 전체 처짐량을 줄여 주는 역할을 하지만 δ_3 의 영향이 가장 큰 것으로 보고 해석하였다.

전선의 단면2차모멘트, 탄성계수 그리고 작용하중으로부터 최대 처짐량 δ 를 식(1)과 같이 구할 수 있다[5].

$$\delta = \frac{Pl^3}{48EI} = 5.8 \times 10^8 \text{mm} \quad (1)$$

단, 단면2차모멘트 $I = \frac{\pi d^4}{64} \times 7 = 5.5 \text{mm}^4$

탄성계수 $E = 120 \text{GPa} = 120 \times 10^3 \text{N/mm}^2$

로봇 무게에 의한 작용력 $P = 15 \text{kg} = 147 \text{N}$

계산 결과를 보면 실제 상황과 차이가 많이 나타남을 알 수 있다. 이것은 해석 과정에서 전신주에서 전선을 당겨주는 인장력에 의한 처짐 δ_2 를 무시한 영향으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 한국전력공사의 현장 기술 자료를 활용하여 처짐을 계산하였다[6].

재료역학에서 처짐 문제는 선형성이 보장되므로 로봇의 무게 15kg을 물리적으로 동일한 최대 처짐이 발생하는 분포하중으로 변환하기 위해 중앙에 집중 하중이 작용하는 경우의 최대 처짐량

δ_{max1} 과 균일 분포하중에서의 최대 처짐량 δ_{max2} 를 식(2)와 식(3)으로 구하고 이를 이용하여 변환계수를 식(4)와 같이 구하였다.

$$\text{중앙집중하중} : \delta_{max1} = \frac{Pl^3}{48EI} \quad (2)$$

$$\text{균일분포하중} : \delta_{max2} = \frac{5Wl^4}{384EI} \quad (3)$$

$$\text{변환계수} : \frac{\delta_{max1}}{\delta_{max2}} = \frac{\frac{Pl^3}{48}}{\frac{5 \times 0.174 \times 50}{384}} = 2.76 \quad (4)$$

식(4)로부터 로봇 대신에 2.76× 15kg 만큼의 전선이 기존의 전선위에 올려진 것으로 대체하여 이를 한국전력공사에서 사용하고 있는 처짐식(5)에 적용하였다[6].

$$D_1 = \frac{W_r S^2}{8T_1} \quad (5)$$

- 여기서, D_1 : 최악조건에서의 허용처짐(m)
- W_r : 전선에 작용하는 최대 합성하중(kg)
- S : 전선주 사이의 거리(m)
- T_1 : 전선의 최대 수평장력(kg)

따라서 $W_r=0.828\text{kg/m}$, $S=50\text{m}$ 그리고 $T_1=1,260\text{kg}$ 에 대해서 최대 처짐량 $D_1=20.5\text{cm}$ 로 계산되었으며 이 결과는 필드테스트에서 측정된 결과와 유사함을 확인하였다.

3.2 로봇의 경량화

신제품을 개발할 때 제품 설계로부터 실제 눈으로 확인할 수 있는 시제품을 제작하는 과정은 반드시 필요하고 이에 소요되는 경제적·시간적 비용을 절약하기 위하여 쾌속조형(RP, Rapid prototyping) 기술과 진공주형(vacuum casting) 기술이 이용되고 있다[7,8]. 쾌속조형기술이란 3차원 형상을 여러 개의 2차원 단면으로 나눈 후 이를 순차적으로 적층함으로써 원하는 3차원 시제품을 만드는 기술이다. 그리고 10개 이상의 시제품을 한 번에 필요로 하는 경우에는 RP에서 제작된 제품을 마스터 모델(master model)로 하여 진공 주형 기술에 의해 양산 제품과 동일한 제품을 얻을 수 있다.

배전선로 점검로봇의 구조는 Fig. 2와 같이 로봇의 이동을 위한 기구부, 전선주의 형태를 인식하여 로봇의 이동을 지시하는 제어부, 로봇에 원하는 움직임을 부여하기 위해 모터를 구동하는 구동부, 전선의 이상유무를 감지하기 위한 측정장비, 로봇과 측정장비의 구동에 필요한 전원공급을 위한 배터리, 각 부품을 연결하는 알루미늄 케이스 및 클램프 등으로 구성되어 있으며 전체 로봇의 무게는 35kg 이다.

본 연구에서는 배전선로 점검로봇의 경량화를 위해 로봇 본체를 구성하고 있는 케이스와 클램프 등에 대해 Fig. 3과 같이 설계하고 쾌속조형기를 이용하여 마스터 모델을 제작한 후 진공 주형기를 이용하여 제품을 제작하였다. 제작에 사용된 쾌속조형기와 진공주형기는 Table 1과 같다. 로봇의 무게를 줄이고 충분한 강도와 강성을 가지기 위하여 재질을 RU-81A ABS 수지로 선정하였으며 로봇의 전체무게를 35kg에서 15kg으로 감량할 수 있었다. Fig. 4는 경량화 된 검사로봇의 외형을 나타낸다.

4. 결론

본 연구에서는 배전선로 검사장치와 이동기구를 가진 점검로봇에서 문제가 된 자체 중량에 따른 전선 처짐 문제를 해결하기 위해 기존에 개발된 배전선로 점검로봇의 경량화를 하고자 하였다. 이를 위해서 먼저 배전선로 로봇이 가공지선을 수행할 때의 전선의 처짐 해석을 통해 로봇의 적절한 무게를 계산하였다. 그리고 배전선로 점검로봇에서 대부분의 무게를 차지하고 있는 케이스와 클램프의 재질을 쾌속조형기와 진공주형기를 이용하

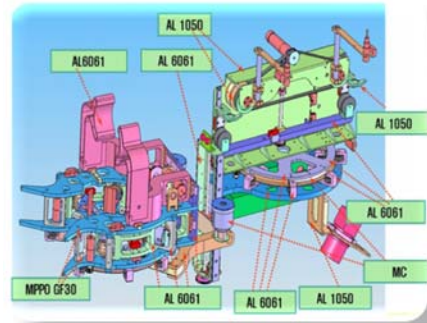


Fig. 2 Schematic diagram of the robot

Table 1 RP machine and vacuum casting machine

	Model	Maker
Sterolithography RP machine	RM6000 II	CMET
Vacuum casting machine	MCP 5/04	MCP

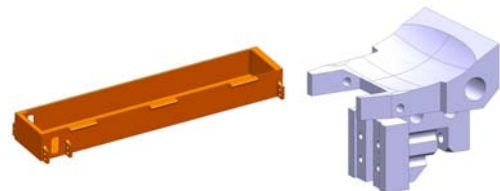


Fig. 3 Design of a case and a clamp

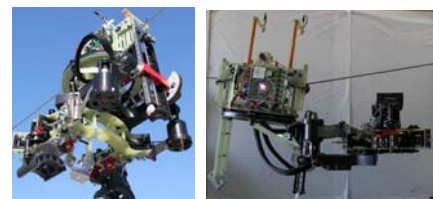


Fig. 4 Light weight of the inspection robot

여 ABS 수지로 대체함으로써 로봇의 무게를 35kg에서 15kg으로 감량할 수 있었다.

후기

본 연구는 (재)부산테크노파크 2007년도 산학공동기술혁신사업의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. 이기상, “적외선 카메라를 이용한 초고압 변압기의 온도특성 분석,” 조선대학교 대학원 박사학위논문, 2003. 2
2. 이학현, “적외선 카메라를 이용한 배전선로 결함진단,” 전남대학교 산업대학원 석사학위논문, 2003. 8
3. 한순신, 최재영, 이장명, “열화상 카메라와 CCD 카메라를 이용한 배전선 고장진단 로봇개발,” 2007년도 정보 및 제어 학술대회(CICS'S 07) 논문집, pp.85-86, 2007. 10. 26
4. 정희석, 김득권, 이장명, “센서융합을 이용한 적응형 배전선 점검 로봇 제어,” 2007년도 추계 합동 학술논문발표회 논문집, 울산대학교, pp1-4, 2007. 12. 1
5. James M. Gere, Mechanics of Materials, 인터뷰전, 2006
6. 문수덕, 이도계산, 한국전력공사 중앙교육원
7. 안동규, 양동열, “쾌속조형공정의 원리 및 동향,” 한국정밀공학회지, 제22권, 제10호, pp.7-16, 2005. 10
8. 김기대, “쾌속조형과 진공주형 및 세라믹 몰드를 이용한 금속주조 시제품 제작 공정에서의 형상정밀도 변화,” 한국정밀공학회지, 제24권, 제6호, pp.131-137, 2007. 6