

## 구부림 피로에 의한 연선의 반단선 특성 해석

송길목, 최충석, 김동우, 곽희로\*  
전기안전연구원, 송실대학교\*

### Analysis on the Characteristics of the Stranded Wire Disconnected by Bending Stress

Kil-Mok Shong, Chung-Seog Choi, Dong-Woo Kim, and Hee-Ro Kwak\*  
KESCO, Soongsil Univ.\*

#### Abstract

In this paper, we analyzed on the characteristics of the stranded wire disconnected by bending stress. The stranded wire that used in the experiment are PVC insulated flexible cords(VCTFK) of 0.75mm<sup>2</sup>, 1.25mm<sup>2</sup>, and 2.0mm<sup>2</sup>. They are used to connect the load in low voltage. The stranded wires disconnected by bending stress were magnified with optical microscope. Using X-ray, the disconnected wire were photographed. we compared mechanical characteristics of the stranded wire between disconnected tendency and allowable current. On the mechanical strength of vinyl captyre ellipse type cords under bending stress, 1.25mm<sup>2</sup> VCTFK was the strongest of them. When it was bended 826.3±7 times, it appeared the disconnected tendency that element wires of 1.25mm<sup>2</sup> VCTFK are more about 1.67 times than element wires of 0.75mm<sup>2</sup> VCTFK. In mechanical strength, 1.25mm<sup>2</sup> VCTFK is higher about 1.7 times than 0.75mm<sup>2</sup> VCTFK. Therefore, we found out that mechanical strength will be higher, if element wire is a lot. In comparison with bending stress, 1.25mm<sup>2</sup> VCTFK is the strongest among samples, and then it is the most useful in wires of movable type.

**Key Words** : stranded wire, bending stress, disconnecting rate, allowable current, VCTFK

#### 1. 서 론

산업발달의 견인차 역할을 한 전기에너지의 이용은 다양한 운동에너지로의 변환과 저장이 가능한 더욱 대형화 및 고급화되어 가는 추세이며, 향후 과학문명의 발전을 위해 없어서는 안될 중요한 에너지로서의 역할이 주목된다. 이렇게 현대 문명에 있어서 사용빈도가 가장 많은 부분을 차지하는 것과 비례하여 사고발생빈도 역시 높은 비율을 차지하고 있다. 특히 전기의 사용에 있어서 열 발생에 의해 화재로 진전되는 경우 상당한 인적 물적 피해를 주게 되는 요인이 되기도 한다. 한국전기안전공사의 전기화재 통계자료에 의하면, 2001년도를 기준으로 전기화재는 1일 평균 30.8건이 발생하고 있는 것으로 조사되었다. 이는 2001년 동안 11,205건의 전기화재가 집계된 것으로 전체 화재의 30%

를 상회하는 높은 재해율을 보이고 있다.[1],[2] 국내의 경우 전기화재에 대한 인식이 확산되어 연구가 진행 중에 있으며 재해를 줄이기 위한 노력이 활성화되고 있다. 하지만, 생산성에 치중되고 있는 현대의 산업기반 풍토가 바뀌지 않는 한 재해를 줄이기 위한 투자에 어려움이 많다. 따라서, 국가 정책적인 차원에서의 지원이 요구되고 있는 실정이다. 전기화재 연구는 다양한 패턴에서의 원인을 규명하고 예방대책을 제시하는 것이 매우 중요하다.[3],[4],[5]

본 연구는 전기화재의 원인 중 기계적 피로에 의해 절연이 약화되어 화재가 발생하는 메커니즘을 모델링한 것으로 저압용 전기기기의 전원선으로 많이 이용되는 비닐캡타이어 타원형코드(VCTFK 2C×0.75mm<sup>2</sup>, 1.25mm<sup>2</sup>, 2.0mm<sup>2</sup>)를 이용하여 반복 피로장치에 의해 구부림 열화시킨 후 단선경향

을 분석하여 그 특성을 해석하였다.

## 2. 실험

저압기기용 일체형 코드에 의한 전기재해는 기계적 피로에 의해 절연피복과 도체가 손상되어 절연과피, 단락이나 접촉불량의 전기적 결함으로 진행되는 경우가 많다. 비닐코드는 일반적으로 주로 옥내에서 교류 300V이하의 소형 전기기구에서 사용되고 있고 가요성 및 절연성이 좋다. 그러나 기계적 요인에 의해 단선될 때 단위면적당 허용전류의 크기가 감소되어 실질적으로 손상받은 부위에는 상대적으로 과전류 형태의 전류가 공급된다. 따라서, 본 실험은 비닐캡타이어 타원형 코드(VCTFK)의 0.75mm<sup>2</sup>(0.18mm/30), 1.25mm<sup>2</sup>(0.18mm/50), 2.0mm<sup>2</sup>(0.26mm/37) 등 3종류를 선택하여 단상 220V의 상용전압에서 비교하였다.

반복피로 형태를 구현하기 위해 그림 1과 같이 실험장치는 구성하였으며, 전선 끝부분에 전동부하(200W)를 연결하여 단선될 때까지 반복 피로를 가하여 구부림(bending)회수를 기록하고 이때 좌우 각은 60°로 하였다. 왕복하는 데 걸린 시간은 1.85sec로 하여 1회 왕복을 회수로 기록한 것이다. 추의 무게는 1,000g이고 피로위치와의 거리는 500mm이다.

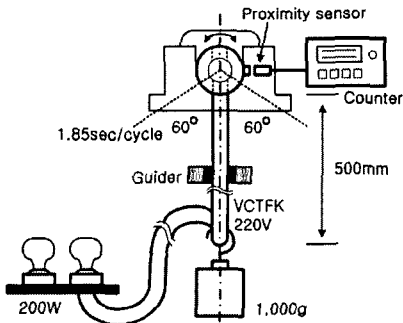


그림 1. 일체형 코드의 반복피로 장치 구성.

우선 실험에서 선택된 연선은 일반적으로 저압 기기용 전원선으로 이용되는 것으로 구부림 피로에 의한 단선 특징을 구분하여 비교하고 허용전류와의 상관관계를 분석하였다. 또한, X-선 투과기를 이용하여 단선된 소선(element wire)의 특성을 확인하였다. 그림 2는 실험과정을 흐름도로 나타낸 것이다.

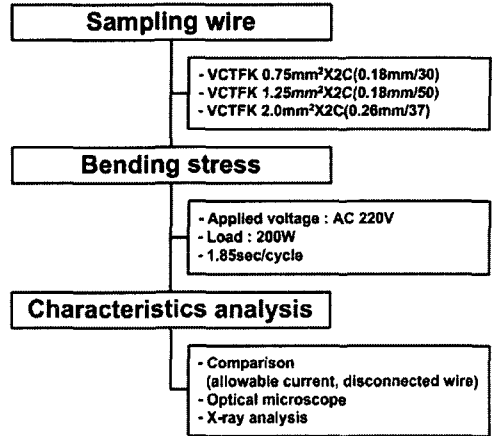


그림 2. 구부림 피로에 의한 실험흐름도.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 단선경향과 허용전류의 비교

반복피로에 의해 단선 되기까지 실험한 결과 소선의 수와 허용전류 사이의 상관관계를 분석할 수 있었다. 그림 3은 연선이 단락 될 때까지의 왕복회수를 기록한 것으로 0.75mm<sup>2</sup>(0.18mm/30)의 경우 486.3±54회의 범위에서 단선되는 것을 확인하였다. 1.25mm<sup>2</sup>(0.18mm/50)의 경우에는 826.3±7회에서 단선되는 것으로 보아 연선 가닥수가 많을수록 기계적 피로에 강한 것을 알 수 있었다. 하지만, 2.0mm<sup>2</sup>(0.26mm/37)의 경우에는 그 단면적이 크지만 상대적으로 기계적 강도가 약간 저하되어 있는 것을 확인할 수 있다. 0.75mm<sup>2</sup>보다 1.25mm<sup>2</sup>가 약 1.7배의 기계적 강도가 큰 것을 알 수 있고 2.0mm<sup>2</sup>의 경우에는 1.25mm<sup>2</sup>보다 약 0.9배 정도로 기계적 강도가 낮은 것으로 실험을 통해 알 수 있었다. 따라서, 기계적 강도만을 실험상으로 확인하였을 때에는 1.25mm<sup>2</sup>가 가장 안정된 형태임을 확인하였다. 따라서, 기계적 피로의 강도가 상대적으로 강한 1.25mm<sup>2</sup>의 사용이 권장된다.

그림 4는 그림 3에 나타난 경향곡선과 실험에 이용된 일체형 코드의 허용전류를 비교한 것으로 0.75mm<sup>2</sup>인 경우 허용전류는 7A로 되어 있고 1.25mm<sup>2</sup>는 12A, 2.0mm<sup>2</sup>인 경우에는 17A의 허용전류를 가지고 있다. 따라서, 이러한 전기적 특성과 비교하면 2.0mm<sup>2</sup>의 전원선이 가장 큰 허용전류를 가진 반면 기계적 피로가 강한 것은 1.25mm<sup>2</sup>로 전원선이 이용되는 특성상 사용용도에 따라 구분이 달라지게 되

는 것을 확인할 수 있다. 즉, 이동성이 많은 전기 기구일수록 1.25mm<sup>2</sup>의 전원선이 권장되고 이동성이 적으면서 전기적 허용전류를 많이 필요로 할 때는 2.0mm<sup>2</sup>의 전원선이 유리한 것을 알 수 있다.

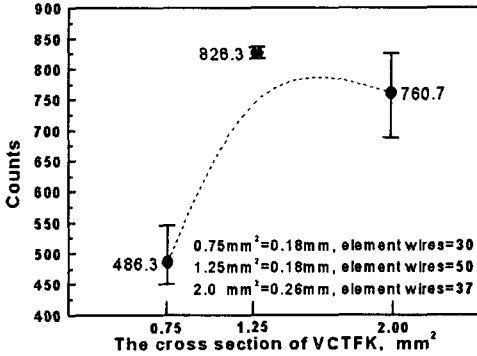


그림 3. 연선의 기계적 피로에 의한 단선경향.

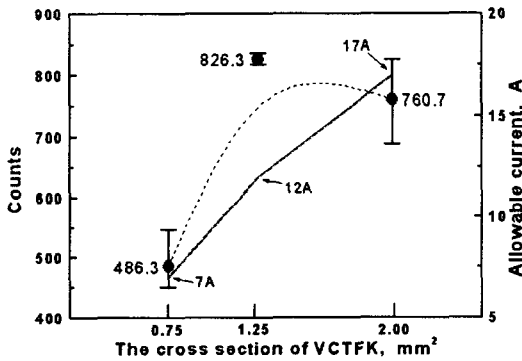
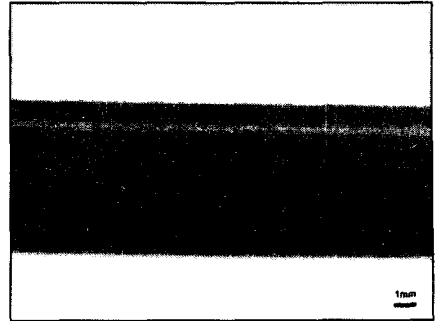


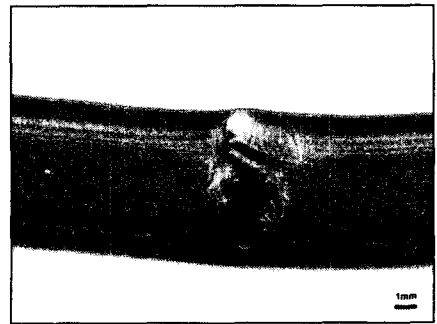
그림 4. 단선경향과 허용전류의 비교곡선.

### 3.2 광학현미경에 의한 외형변화 비교

연선의 외형변화를 보면 1.25mm<sup>2</sup>의 연선인 경우 그림 5에서와 같이 정상 연선과는 다른 형태를 하고 있다. 그림 5(a)는 정상일 때의 외형을 촬영한 것이고 (b)는 구부림 피로에 의해 열화된 연선의 외형을 촬영한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 구부림 피로가 지속될수록 연선 내부의 소선들이 각각 단선되면서 접촉불량에 따른 아크(arc)와 줄열을 발생한다. 절연피복의 내부를 탄화시키고 외부로 열이 방출된 형태를 보여준다. 열패턴은 연선이 들어 있는 내부에서 외부로 발산된 형태를 확인할 수 있었다.



(a) 정상 연선



(b) 반복피로에 의한 아크흔

그림 5. 반복피로에 의한 연선의 외형 비교.

### 3.3 X-선 투과에 의한 분석

연선 1.25mm<sup>2</sup>의 구부림에 의해 단선된 형태를 분석하기 위해 X-선 투과기를 이용하여 분석하였다. 그림 6에서 전원선 내부의 소선들이 말아져 있는 형태를 하고 있으며 선간 단락의 형태를 가지고 있지 않은 것을 확인할 수 있다.

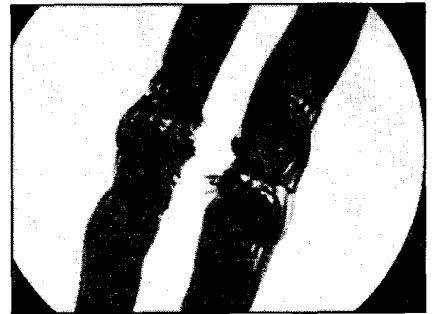


그림 6. 구부림 피로에 의한 연선의 X-선 투과.

따라서, 구부림 피로에 의해 화재로 진전된 일반적인 형태는 단선된 소선의 접촉불량에 따른 발열에 의해 화재로 진전된 것을 알 수 있다. 접촉불량에 의한 경우 전기의 공급이 불규칙하게 이루어지지만 차단기가 동작하지 않아 실질적으로 화재가 발생하더라도 보호할 수 있는 설비가 없다.

#### 4. 결 론

구부림 피로에 의해 연선이 단선되는 경우 화재로 진전되는 과정과 외형변화를 분석하여 연선의 반단선 특성을 해석하였다. 또한, 연선의 종류에 따라 단선 특성을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 비닐캡타이어 타원형 코드의 구부림 피로에 의한 기계적 강도는 1.25mm<sup>2</sup>, 2.0mm<sup>2</sup>, 0.75mm<sup>2</sup>의 순서로 강하였고 1.25mm<sup>2</sup>의 경우 826.3±7회에서 단선되었다.
2. 1.25mm<sup>2</sup>는 0.75mm<sup>2</sup>의 소선수보다 약 1.67배가 많아 실질적으로 단선될 때까지 1.7배 차이가 나므로 소선수에 따라 기계적 강도가 강한 것을 알 수 있다.
3. 2.0mm<sup>2</sup>(0.26mm/37)의 기계적 강도는 1.25mm<sup>2</sup>(0.18mm/50)보다 약 0.9배이고 0.75mm<sup>2</sup>보다 1.6배 강한 것을 알 수 있다.
4. 허용전류와 비교하여 220V 저압기기용 일체형 코드에서 이동성, 부하용량 등을 고려한 이동성이 많은 경우 상대적으로 구부림 피로에 강한 1.25mm<sup>2</sup>의 전원선이 유리하다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부(MOCIE) 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- [1] 최충석 외 5, “전기화재공학”, 동화기술, pp.185~211, 2000.
- [2] 송길목 외 3, “Over-Current에 의한 PVC Insulated Flexible Cord의 전기화재 해석에 관한 연구”, KIEE Conference on HV&DAT, pp. 131~133, 2003.
- [3] 최충석 외 4, “열적 피로에 의한 전원코드의 발화특성과 전기화재 분석에 관한 연구”, KIFSE Conference, pp. 164~170, 2003.
- [4] Chung-Seog Choi, “A Study on the Electrical Fire Analysis of Insulating Materials Due to the Tracking Deterioration”, 2002 ACED & K-J Symposium, pp.606~609, 2002.
- [5] Norimich Watanabe 外 2, “電源コードの半斷線個所による放電形態と火災危険性”, 日本火災學會研究發表會, pp.201~203, 1994.