

# 배수용 수중 펌프의 소손 원인 분석(下)

글 | 최충석 한국전기안전공사 전기안전연구원 재해예방연구그룹장

(지난 호에 이어서)

### 다. 배수용 펌프의 실체 사진

배수용 펌프의 내부를 분석하기 위해 몸체 밑에서 약 2/3 지점의 볼트를 풀어 상부를 분해한 결과 [그림 7]과 같았다. 덮개 부분과 내부에 상당량의 오수(汚水)가 있는 것을 확인할 수 있었고, 권선 및 전원 연결 전선의 피복이 손상되어 서로 합선(단락)된 것을 확인하였다. 또한 코일 부분에서도 심하게 오염되었고 권선이 층간 단락된 부분을 확인할 수 있었다. [그림 8]은 콘덴서와 전원 연결 전선을 확대한 것이다. 실체 사진에 나타난 바와 같이 전선은 물기가 많이 묻은 상태였으며 절연 피복이 손상되어 있고, 전선의 용융 흔적이 있는 것을 확인할 수 있다.



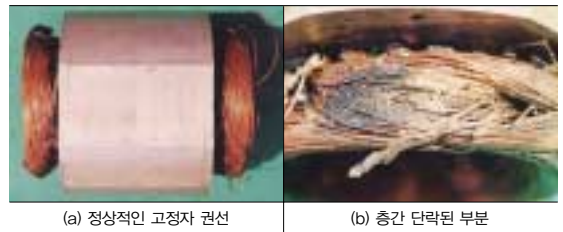
● 그림 7 • 상부 덮개를 제거한 내부의 실체 사진      ● 그림 8 • 전원 연결선의 실체 사진

[그림 7]에서 덮개 부분을 분리하고 콘덴서와 기타 전원 연결 부분의 전선을 분리하여 내부의 고정자 및 회전자를 분해한 실체 사진이 [그림 9]이다. [그림 9]은 배수용 펌프를 분해한 것으로 (a)에는 각각의 고무 패킹과 고정자, 회전자 등이 있다. (b)는 고정자 부분인 권선만을 확대하여 촬영한 것으로, 전원 연결 부분의 전선과 권선 사이에 용융 흔적을 확인할 수 있었다.



● 그림 9 • 배수용 펌프를 분해한 실체 사진

[그림 10]은 고정자 권선의 실체 사진은 나타난 것으로 (a)는 정상 권선이며, (b)는 소손된 권선을 나타낸 것이다. (b)에서와 같이 층간 단락된 권선 부분에 용융 흔적이 있고 열적으로 손상을 입어 층간 단락된 극 부분이 검게 탄화된 것을 알 수 있다. 층간 단락된 고정자 권선 부분으로 용융 흔적이 확인되며, 권선 연결부에 접촉이 불량하고 외부의 오수(汚水)가 침투되어 상당 시간에 걸쳐 열화(劣化) 과정이 있었던 것으로 판단된다.

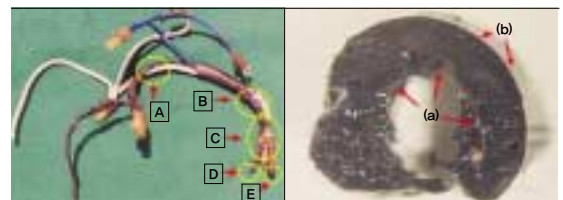


● 그림 10 • 고정자 권선 외형의 실체 사진

### 라. 전선의 금속조직 분석

[그림 11]은 전원 연결선의 용융 흔적을 나타낸 실체 현미경 사진이다. 절연 피복이 손상된 부분과 연선이 용융된 부분을 A, B, C, D, E의 다섯 부분으로 나누어 실체 현미경으로 확대하여 분석하였다. [그림 12]는 A 부분의 절연 피복의 단면을 분석한 것으로 열적 스트레스의 방향이 내부에서 밖으로 진행되는 것((a) 부분)을 확인할 수 있다.

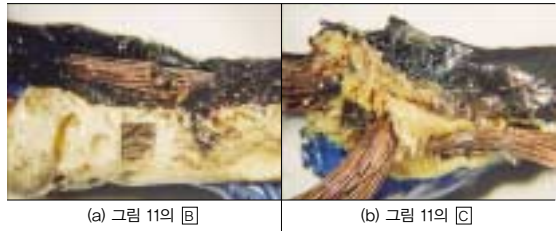
또한 (b)의 경우 (a)보다 열적 스트레스를 적게 받은 것으로 확인되었다. 결과적으로 전선의 내부 발열에 의해 피복이 손상되었음을 의미한다.



● 그림 11 • 손상된 전원 연결 전선      ● 그림 12 • 절연 피복의 단면

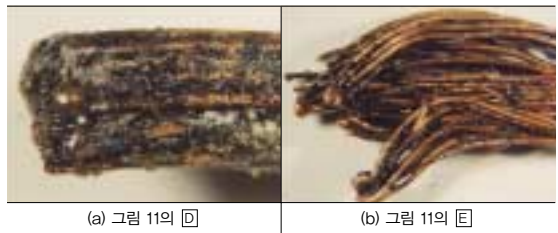


[그림 13]에서 확인할 수 있듯이 [그림 11]의 [B] 부분의 연선(여러 가닥을 꼬아서 만든 전선)에는 일부 용융 흔적이 확인되었다. 또한 소손된 절연 피복의 주변에 비산된 연선의 구리 성분이 있는 것을 확인할 수 있다. 그리고 [그림 11]의 [C] 부분의 연선에 접촉된 절연 피복은 탄화되었다.



● 그림 13 ● [그림 11]의 [B], [C] 실제 현미경 사진

[그림 14]는 [그림 11]의 [D]와 [E] 부분으로 권선과 바로 연결되어 있던 인출선이다. 실제 현미경에 의해 분석한 결과 두 부분 모두에서 용융 흔적이 확인되었다. [그림 11]의 [B], [D], [E] 부분에서 발견된 용융 흔적을 정밀 분석하기 위해 금속 현미경을 이용하였다.



● 그림 14 ● [그림 11]의 [D], [E] 실제 현미경 사진

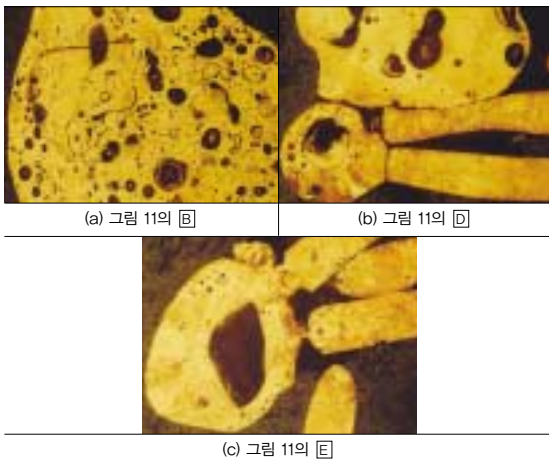
[그림 15]의 (a)는 [그림 11]의 [B]부분의 절연 피복 사이에 있는 연선의 용융된 부분으로 절연 피복이 내부에서부터 녹아 절연 피복이 벗겨진 것을 볼 수 있었다. 금속 단면 조직에서도 알 수 있듯이 열적 스트레스에 의해 소손된 후 전기적으로 합선되었을 때 나타나는 증상



조직과 다양한 형태의 구멍이 확인되었다.

[그림 15]의 (b)는 [그림 11]의 **㉔** 부분의 단면 금속 조직을 나타낸 금속 현미경 사진이다. 사진에서 알 수 있듯이 경계면을 중심으로 주상 조직이 성장되었으며, 구멍 등이 나타나는 것으로 보아 전기적인 합선이 발생했음을 알 수 있다.

[그림 15]의 (c)는 [그림 11]의 **㉕** 부분의 금속 단면 조직을 나타낸 금속 현미경 사진이다. 사진에서 알 수 있듯이 경계면을 중심으로 주상 조직이 성장되었으며, 구멍 등이 나타나는 것으로 보아 전기적인 합선이 발생했음을 알 수 있다.



• 그림 15 • 전원 연결 전선의 용융 흔적의 금속 단면 사진

#### 4. 맺음말

##### 가. 전압 인가에 의한 동작 확인

정격 전압을 인가할 때 펌프에는 약 19m의 전류가 흘렀으며, 전동기는 동작하지 않았다. 그리고 펌프의 외부는 기계적인 스트레스, 균열, 용융 흔적 등이 없는 것으로 판단된다.

##### 나. 전기저항 특성

전원 연결선과 접지선 사이의 저항을 측정하여 권선과 외함의 절연 상태를 확인한 결과 0.50M $\Omega$ , 0.56M $\Omega$ 의 절연 저항이 측정되어 외함과 권선이 전기적으로 절연상태가 좋지 않음을 확인할 수 있다.

그리고 전극과 전극 사이에는 약 0.46M $\Omega$ 의 절연 저항이 측정되는 것으로 보아 권선의 일부가 단선(또는 반단선)되었던가 권선의 일부가 물리·화학적으로 변형이 있었던 것으로 판단된다.

##### 다. 펌프의 실제 사진 분석

배수용 펌프의 내부를 분석한 결과, 덮개 부분과 내부에 상당량의 오수(汚水)가 있는 것을 확인할 수 있었고, 권선 및 전원 연결 전선의 피복이 손상되어 서로 합선(단락)된 것을 확인하였다.

또한 코일 부분에서도 심하게 오염되었고 권선에서 층간 단락된 부분을 확인할 수 있었다.

##### 라. 금속조직 분석

고장자 권선에 연결되는 전원선이 용융되었고 절연 피복이 내부에서부터 녹아 절연 피복이 벗겨진 것을 볼 수 있었다.

금속 단면 조직에서 경계면을 중심으로 주상 조직이 성장되었으며, 구멍(void) 등이 나타나는 것으로 보아 전기적인 합선이 발생했음을 알 수 있다.

이상과 같은 내용을 종합해 보면 배수용 펌프로 사용되는 펌프가 어떤 이유인지는 명확히 밝힐 수 없으나 전원선의 절연 피복이 소손된 후 물기, 흙 등 이물질이 유입되어 장시간 층간 단락이 발생하여 사고로 확대된 것으로 판단된다. 