

## 발전기 브러시기어(Brush Gear) 관리방법 고찰

이간운\*, 박문동, 차재만  
한전기공(주) 원자력 기술 연구원

### A study on the maintenance for the brush gear of the generator

K.W.Lee\*, M.D.Park, J.M.Cha  
Korea Plant Service Engineering, Nuclear Technology Training Center

**Abstract** - As defects may be found in the brush gear of the generator due to the quality of the collector ring and the operation environment. A research on the operation condition and defect factors of the collector ring and brush, in relation to the brush gears in generators operating within Korea has been carried out, as well as an analysis of factors that affect the collector rings.

#### 1. 서 론

발전기의 브러시 기어는 계자에 여자전류를 전달하는 장치로 집전링, 브러시, 브러시 지지대, 냉각 팬, 냉각용 공기 통풍구 및 여과기 등으로 구성되어 있다. 또 집전링 표면은 나선형의 홈이 파여져 브러시와 집전링 표면의 마찰과 전류에 의해 발생하는 열의 냉각면적을 증가시켜 주며 동시에 지지물에 설치된 병렬 브러시의 전류 분담을 균일하게 해주는 효과를 준다. 이와 같이 브러시 기어의 구조는 극히 단순하지만 주위의 온도, 습도, 가스, 유분의 부착 등 환경적인 요인과 브러시의 스프링 압력, 재질, 브러시와 집전링과의 연속적인 접촉상태, 집전링과 브러시의 평행도, 집전링과 홀더의 갭(Gap) 등 복합적인 요인에 의한 이상마찰로 인하여 편 마모, 접촉면의 아크로 인한 불꽃 발생 및 심한 진동으로 브러시 피그 테일 절단 소손과 때에 따라서는 플러쉬 오버 사고까지 진전되며 이런 결함으로 집전링의 선반가공과 연마가 수반되어 집전링의 수명을 단축시킨다.[1]

따라서 본 논문은 현재 운전되고 있는 국내 발전기 중 약 76기를 대상으로 브러시기어에 영향을 미치는 환경적인 요소와 인적관리 요소를 중심으로 한 예방점검항목을 파악하고, 브러시기어 관리형태 및 결합원인을 조사, 분석하여 발전기 브러시기어의 효과적인 관리에 대한 개선 방향을 제시하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 집전링 손상 메카니즘

집전링의 마모는 브러시에 의한 집전링 표면 피막에 의해 좌우된다. 집전링 표면의 피막은 브러시기어 주변의 습분에서 얻어지는 물의 분자와 브러시의 재질에 의해 형성된다. 적절한 피막은 브러시의 마찰과 마모율을 적게 해주며, 각 발전기마다 마모율은 조금씩 차이는 있으나 약 1000[hr]에 25[ $\mu\text{m}$ ] 정도 예상된다. 1000[hr]에 127[ $\mu\text{m}$ ] 이상 집전링의 직경이 감소되면 브러시기어 관리에 문제가 있는 것으로 간주된다.[2]

집전링의 마모의 요인으로는 기계적인 마모와 전기적 또는 전류에 의한 아크 침식에 의한 마모로 기인된다. 이중 일반적으로 전기적 마모가 더 크게 나타난다.

장시간 운전 또는 어떤 원인으로 집전링의 마모가 발생되면 브러시의 진동이 서서히 증가하게 되고, 더 나아가 집전링은 다른 브러시 트랙 사이에 울퉁불퉁한 형태

의 편마모가 서서히 일어난다.

만약 브러시 진동이 과도하게 일어나게 방치하면 브러시가 완전하게 접촉하지 않게 되어 흔들림과 아크 발생이 된다. 집전링 표면의 편마모가 심하게 일어난 경우 브러시의 접촉면에서 더욱더 진동이 증가하고 이로 인한 미약한 아크발생으로 집전링 표면 마모를 더욱 가속시키기 때문에 어느 한곳에 집중적인 마모가 증가되어 정상적인 운전이 곤란하게 되어 선반 가공이나 기계적인 연마를 수행해야 한다.

이러한 상태를 방지할 경우 아크로 인한 브러시 과열과 진동으로 인한 브러시의 피그테일의 절손이 일어나고 브러시의 떨림으로 브러시 끝이 깨지기 시작한다.

집전링이 더 깊은 침식이 일어났을 때 그 부분의 브러시에 미치는 힘이 가속되고 결국은 브러시가 부서지게 된다.

##### 2.2 집전링에 영향을 미치는 요소

발전기 운전 중 집전링과 브러시에 영향을 미치는 요소는 다음과 같다.

###### 2.2.1 브러시 재질

발전기의 집전링에 사용되는 브러시의 특성으로는 적당한 강도는 물론 낮은 부리성의 저밀도 브러시가 적합하며, 특히 전류분담이 일정한 재질 및 구조의 브러시가 적합하며 마모는 적어야 한다. 일반적으로 속도가 높을수록 부드러운 브러시가 적합하며, 적절한 브러시라 할지라도 온도, 습분 등 보관환경에 따라 특성이 변화될 수 있으므로 신품 브러시의 보관은 온도, 습도가 적정한 장소에 보관하여 고유특성을 유지하도록 하여야 할 것이다.

###### 2.2.2. 브러시 압력

브러시의 스프링압력은 대부분 정압식으로 되어 있어 조정이 필요하지 않게 되어 있으며, 제품에 따라 차이가 있으나 일반적으로 면적 25.4×38.1[mm]는 3[ $\ell\text{b}$ ](141[g/cm<sup>2</sup>])으로 되어 있다.[2]

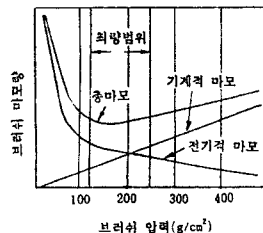


그림1. 브러시의 마모

이 브러시 압력은 집전링과 브러시의 마모와 밀접한 관계가 있으며, 압력이 높을 경우 기계적 마모가 증가하며 또 압력이 낮을 경우 접촉저항 증가로 전기적 마모가

증가한다. 그림1은 브러시의 기계적, 전기적 마모의 상호 관계를 나타낸 것이다.

### 2.2.3. 브러시 홀더와 링표면의 공극

브러시 홀더와 집전링 표면간의 이격거리를 적정하게 (제작사 규정치)유지하여야 하며, 너무 적을 경우 진동에 의해 집전링과의 접촉이 일어나며, 너무 클 경우 브러시의 떨림과 이로 인한 깨짐 등으로 브러시의 교체주기가 짧아진다.

### 2.3.4. 브러시 홀더(Holder) 내의 공극

브러시 홀더(Holder)내부는 깨끗하게 유지하여 브러시 마모가루나 이물질의 응고 등에 의한 브러시의 상, 하운동의 방해요소가 없도록 하여 브러시가 원활히 움직일 수 있도록 하며, 홀더 내부를 샌드페이퍼등으로 과도하게 가공시 공극이 증가하여 브러시의 떨림이 발생할 우려가 있으므로 브러시 응고가루만 제거하고 세척제로 청소하는 세심한 주의가 요구된다. 일반적으로 브러시와 홀더와의 이격거리는 6~12[mils](0.152~0.305[mm]) 정도 유지하면 된다.[2]

## 2.3.5 환경적인 요소

### 2.3.5.1 유분(Oil)

브러시 기어 주변에는 베어링, 밀봉유, 커풀링 그리스 등이 상존하고 있으므로 이 유분이 브러시기어 냉각공기 속에 함유되어 브러시기어 내부로 들어갈 경우 공기여과기의 막힘과 집전링 표면의 유막 형성에 의한 브러시의 접촉저항증가로 각 브러시간의 전류분담에 불평형이 발생되고 또 유분과 카본 먼지의 혼합으로 브러시기어 내의 도전부와 대지간의 절연저항을 저하시켜 계자지락 사고 등에 영향을 준다.

### 2.3.5.2 오염 공기

냉각용 공기는 깨끗해야 하며 공기 흡입구에 먼지, 이물질 등이 있는 경우 공기의 유입을 방해하고 이물질이 집전링에 영향을 미치므로 깨끗한 관리가 이루어져야 한다. 발전기 주변의 공기중에 함유되어 있는 수소 황화물, 아황산, 염소 등이 유입시 집전링과 브러시에 악영향을 미침으로 오염가스가 심한 경우 화학적인 여과기를 설치한다.

### 2.3.5.3 습분 및 온도

습분과 온도는 집전링의 피막형성에 지대한 영향을 미친다. 브러시 기어의 운전에 바람직한 습분의 함유량은 26.7[°C]에서 30[%]의 습분 함유가 적정하다.

만약 상온에서 10[%]의 습분이 함유시 브러시 마모 증가로 수명이 단축된다. 습분이 적은 경우 습분 제조기 또는 주변에 스팀생성, 냉각기 등을 설치하여 브러시 관리가 필요하다.[3]

또, 습도가 높은 경우에 오염가스가 포함 시 산화 부식 등의 결함이 발생할 우려가 있다.

## 2.4 집전링 결함에 의한 가공 현황

다음 표1 는 제작사별 집전링 결함발생 및 정비현황을 나타낸 것이다.

표1. 제작사별 결함 집전링 현황

제작사	GE	FUJI	GEC	ALS-THOM	TOS-HIBA	기타	계
집전링 수	38	11	5	4	4	14	76
교체 집전링 수	1	0	2	0	0	1	4
선삭 집전링 수	1	3	5	4	2	3	18
집전링 선삭 횟수	2	5	14	8	2	4	35

조사 대상의 발전기 중에 집전링 교체의 경우는 GEC사 5대중 2대로 점유율은 40%로 가장 많이 발생되었다. 집전링 산화 및 아크로 인한 불꽃 발생등 집전링 표면 결함으로 인한 선반가공의 경우 GEC사 5대 모두 14회(2.8회/대), ALSTHOM사 경우 4대 모두 8회(2회/대)가공이 이루어지는등 수량대비 결함의 특정사의 집전링에서 집중적으로 나타났다. 이는 인적관리 요인 또는 환경적인 요인에 의한 결함뿐만 아니라 각 제품별 브러시기의 구조상의 문제에 의한 것으로 판단하였다.

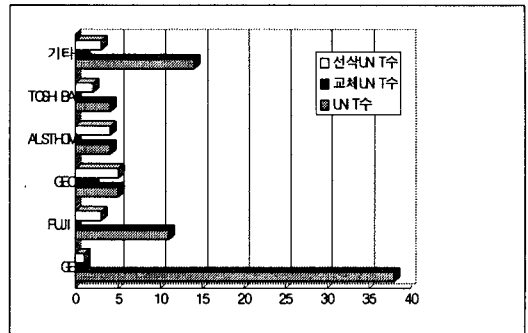


그림2. 제작사별 집전링 결함 분포도

## 2.5 결함원인 분석

### 2.5.1 브러시 재질

각 발전기별 사용 브러시는 각 제작사의 권고에 의해 사용되고 있으며, 표2는 브러시 형식별 현황을 나타낸 것이다.

표2. 브러시 형식별 집전링 결함 현황

구분	NCC 634	GHS 431	LFC 557	기타	합계
Unit 수	46	8	12	10	76
선삭 집전링 수	3	3	9	3	18
선삭 횟수	4	5	22	4	35

사용중인 브러시 형식별로 조사한 결과 NCC634 및 GHS431 형식에서도 결함이 나타났으나 선반으로 집전링의 가공 횟수 및 현 집전링의 운전상태 등을 고려해 볼 때 환경적인 요인이나 인적 관리상의 소홀로 인한 결함인 것으로 판단되나, LFC557 형식의 브러시 경우 결함율, 결함빈도 및 현 집전링 운전상태 등을 볼 때 이는 환경적인 요소에 의한 영향보다 브러시 재질상에 문제로 기인한 것으로 판단하였다.

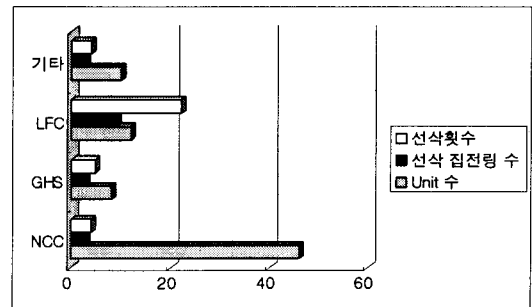


그림3. 브러시 형식별 집전링 결함 현황

특히, 일부 대형발전기의 불시 중지 시 계통의 순간적인 전력수급의 불평형으로 인한 계통전압 안정을 위한 급격한 계자전류의 변화로 발전기 또는 여자기 집전령의 표면에 브러시자국(skid mark)이 발생하는 경우가 많이 나타난다. 이 브러시자국은 큰 계자전류에 의한 집전령의 피막손상으로 나타난 것이며, 집전령 표면의 피막이 손상된 상태로 발전기의 정격운전 시 큰 계자전류의 지속적인 유입으로 집전령 표면과 브러시 사이에서 아크가 발생하고 이로 인해 집전령이 급작스럽게 악화되는 것으로 나타났다.

이 현상은 LFC557 형식의 브러시를 사용하고 있는 발전기에서 집중적으로 나타났으며, 일부 발전기의 브러시 형식을 NCC634 재질로 교체 사용한 결과 이와같은 현상이 발생되지 않았다.

표3은 LFC557, GHS431 및 NCC634형식의 브러시 특성에 대해 비교한 것으로, NCC634형식의 브러시는 LFC557와 GHS431형식의 브러시 경우보다 고유 저항율이 크고, 접촉저항으로 전압강하가 크기 때문에 계통사고로 인한 과도상태에서 전압유지를 위해 계자전류의 급격한 증가에 대해 타 브러시 보다 완충시켜주는 큰 효과를 얻을 수 있으므로 집전령에 미치는 영향을 최소화 하는 것으로 판단된다.

표3. 브러시 형식별 특성 비교

특성 항목	밀도 (g/cc)	비저항율 ( $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ )	경도 (HS)	접촉전압강하	주변속도 (m/sec)	전류밀도 (A/cm)
LFC 557	1.5	1,500	40	중간	75	6~10
NCC 634	1.24	2,500	16	크다	62	8
GHS 431	1.71	1,100	45	중간	50	6~10

### 2.5.2 브러시 압력 편차

브러시 압력 관리의 착안점은 적정한 압력뿐만 아니라 브러시간의 압력차이가 적어야 브러시간의 균일한 전류분담과 균일한 마모가 이루어진다. 발전기에 사용되고 있는 브러시홀더의 스프링 압력은 대부분 정 압력방식으로 되어 있으나 브러시의 길이와 측정방법에 따라 측정 오차가 발생되므로 가능한 동일크기의 브러시에 대해 측정해야 할 뿐만 아니라 측정방법 또한 동일 방법을 채택하여 관리하여야 한다.

표4. 브러시압력 편차 현황

압력차(%)		10% 미만	11~20%	21~30%	합 계
Unit	최대	28	12	1	41
	최소	35	5	1	41

표4는 발전기 76기 중 41기의 집전령에 대한 브러시의 평균압력 대비 각 Unit별 집전령 브러시 중 최대, 최소 브러시 압력에 대해 편차를 조사하였다. 그 결과 대부분의 발전기의 경우 양호한 것으로 나타났으며, 브러시의 압력이 집전령의 결함에 큰 영향이 없는 것으로 판단하였다.

### 2.5.3 브러시 진동 관리

브러시의 진동 측정관리는 제작사별로 차이가 있으나 발전기 76기의 브러시기어 중 진동을 주기적으로 측정하여 브러시기어의 동향을 분석하고 있는 집전령은 4기만이 수행되고 있다. 브러시 진동추이 분석이 운전 중 집전령 상태 파악에 좋은 요소이므로 전 발전기에 확대 시행하는 것이 바람직하다.

### 2.5.4 공기 여과기 관리

각 발전기별 브러시기어 공기여과기 교체주기를 조사한 결과 주변환경을 고려하여 교체주기를 설정하여 관리하고 있으며, 청정한 환경의 경우 3~12개월, 분진이 많은 경우는 7~15일 주기로 교체하므로 집전령에 이물질 유입은 물론 공기 흡입구 막힘으로 인한 냉각의 방해되는 요소 및 공기중에 함유된 오일, 수소 황화물, 아황산, 염소 등으로 인한 집전령의 부식, 산화 등의 악영향으로부터 자유스러운 것으로 나타났다.

### 2.5.5 온도 및 습도 관리

브러시기어 냉각시스템의 공기 흡입구 및 주변의 온도 및 습분 측정결과 대부분의 브러시 기어 경우 공기 흡입구 근처의 온도가 26~37°C이며 브러시 기어 주변습도는 대부분 35~40%로 적정하게 나타났으며, 일부 발전기의 경우 습도가 약 70% 정도로 높게 나타났다.

계속적으로 이와같은 현상이 발생할 경우 주변공기중의 오염가스 존재 시 집전령의 산화 부식등 결함 발생 우려가 있을 것으로 판단되므로 습도관리에 대한 조치가 이루어져야 할 것이다.

### 2.5.6 브러시 기어 각 구성품의 정렬상태

집전령과 브러시에 영향을 미치는 요소인 인적관리요소인 브러시 기어 각 구성품의 정렬상태 등을 조사한 결과 브러시 홀더와 집전령 표면간의 이격거리는 권고된 적정간격으로 잘 유지되고 있으며, 또 초기 집전령 표면 결함으로 인한 연마에 의한 가공 또는 선반가공 시 집전령과의 정렬방법 등에 별문제가 없는 것으로 나타났다.

## 3. 결 론

국내 운전중인 발전기에 대해 집전령과 브러시에 나타난 결함을 조사하고 집전령에 영향을 미치는 요소를 중심으로 결함의 원인을 분석한 결과,

대부분의 발전기의 집전령은 양호하게 관리되고 있음을 알 수 있었으나, 일부 집전령의 경우 재질상의 문제 및 기타 주변환경이나 인적관리상의 요인으로 인하여 결함이 있는 것으로 판단되며, 이 경우 브러시 재질을 변경하여 사용함으로써 반복되는 결함이 해결되었다.

특히, 브러시기어의 바람직한 유지관리는 정지 중 점검비도 중요하지만 무엇보다 운전 중 예방정비가 중요하므로, 주기적으로 진동을 측정하여 추이를 분석하여 사전조치를 하여야 하며, 일단 결함이 발생되면 근본적인 해결 없이는 반복적인 결함이 나타나기 때문에 집전령 가공에 앞서 그 요인을 찾아 제거해야 하고, 표면을 정밀하게 연마한 후 초기피막을 형성해 주는 등 세심한 관리가 필요하다.

### (참 고 문 헌)

- [1]김홍희, "발전기관리", 전기계통, pp.84, 1991
- [2]GE International Power System, "Collector Ring" Operation & Maintenance Training, Vol. II, pp.1-19, 1983
- [3]이간운, 박문동, "주발전기정비", pp.36-40, 2000