

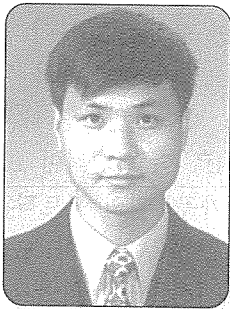
압, 점화용 여자전압, 고주파의 리플(ripple)형 전압 및 electrostatic 직류전압으로 분류된다. 네 번째까지는 절연 및 filter condenser설치로 다룰수 있지만 마지막의 직류전압은 증기의 flow action에 의한 정전기적현상(electrostatic phenomenon)으로 기인된다.

electrostatic DC voltage는 습증기 입자의 운동에 의해서 발생되는데 non condensing터빈에서는 관찰되지 않는다. 이 voltage는 직류전류이고 로터와 ground사이에 존재하고 만일 베어링, seal, 터빈의 위엄기어 및 발전기의 연결부에 전도되었다면 이 전압은 베어링의 오일필름이 파괴될 때까지 정전용량(elctri-cal capacitance)은 계속해서 높아진다. 따라서 오일필름에

서 반복적으로 방전작용이 발생되어 베어링표면에 pitting이 발생하고 결국에는 서리형태(frosted)의 손상이 발생된다. 서리형태의 손상(pitting)은 유막의 형성이 부적절해지면서 wiping이 발생되고 pitting부는 없어져 버리고 베어링의 유막은 회복된다. 이러한 현상이 반복적으로 반복되어 큰 사고로 기인된다.

9375kw이상의 복수터빈에서는 이러한 전기적 유해요소를 방지할 목적으로 grounding brush를 장착하기 편한 곳에 장착한다. 이 grounding brush는 얇은 오일필름에서도 작동하여 축전류를 접지점까지 유도하여 전기적 손상으로부터 베어링을 보호하는 역할을 수행한다.

황동볼트 손상원인 분석사례



한전전력연구원 발전연구실
발전설비지원그룹
선임연구원 정남근
Tel : (042)865-5313

Key Words: Key Words : brass(황동), β phase(β 상), lead segregation(납 편석)

Abstract

According to recent Korea Electric Power Company report, yearly distribution line brass cramp bolts failure summed up to 4,400 cases emerging as one of main local break-down causes. Naturally, the need for the investigation was proposed.

To determine the root cause of the cramp bolt failures, mechanical and metallurgical investigation were performed for 90 samples which collected from various sites.

For the understanding of the geometric characteristics, stress distribution was evaluated by CAE program and proof load of each bolts was tested. The SEM & EDS was used for metallurgical investigation.

Through the investigation, the root causes of failures were confirmed.

All damaged bolts showed intergranular fracture mode and the all fractured bolt showed β phase morphology contrast to the α & β mixture morphology of the non-damaged samples. Additionally, EDS analysis confirmed the existence of lead rich layer on grain boundaries.

1. 서론

배전계통이란 변전소에서 22.9kV로 감압한 저압 전력을 수용가 까지 이송하기 위한 선로설비와 부대시설을 말하며 소 용량 수용가의 경우에는 주상변압기 등을 이용하여 공급전압을 220V 까지 재 감압하여 공급하고 있다.

본 고에서 다루어질 배전용 활선클램프는 전주상의 가공전선과 변압기 리드선을 연결하기 위한 금구의 일종으로 본체에 아이볼트를 끼운 후 아이에 변압기 리드선을 삽입하고 너트를 조여 고정시키는 구조로 되어 있는데 아이부분이 <사진 1>과 같이 손상되면서 지역정전을 발생되어 유발 배전관계자들을 괴롭히고 있다.

배전용 활선클램프는 풍압이나 진동 등과 같은 고하중을 조건을 고려한 부품이 아니기 때문에 상대적으로 제품 신뢰성이 낮은 구조방식의 제품을 사용해온 것으로 보인다.

그러나 전력공급 신뢰성에 대한 고객의 기대 수준이 과거와 비교할 수 없을 정도로 높아졌으며 최근 활선클램프 볼트 사례가 상당히 증가하여 부품 손상에 대한 명확한 기술적 설명이 필요하게 되었다.

이에 따라 전국 배전 현장에서 90개의 미 손상 클램프 볼트와 30개의 손상 볼트가 수거되어 손상원인 규명을 위한 기계 금속학적 조사가 이루어지게 되었다.

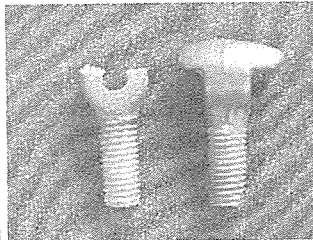
2. 손상상황

<사진 1>과 같은 형태의 활선클램프는 전국적으로 26만개 정도가 설치되어 있는데 '02년 상반기까지 집계된 아이볼트의 손상개수는 4,400개로 전체 설치 량의 1.7%수준에 이르고 있다.

극소수의 볼트를 제외한 대부분의 볼트들은 <사진 2>와 같이 덮개같이 생긴 부분이 탈락된 형태로 손상되고 있었다.



<사진 1> 활선클램프



<사진 2> 아이볼트

3. 분석결과

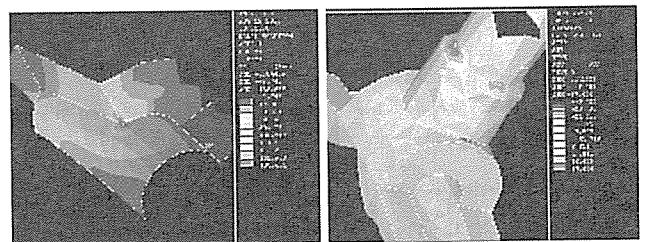
볼트홀의 손상원인 분석을 외관검사 결과를 바탕으로 응력해석과 내하중시험, 파면검사, 조직검사 및 성분검사를 종합분석하는 방법으로 진행되었다.

외관검사에서 전체적인 분석방향을 결정하였으며 하중 인가시의 볼트의 지지형태가 관찰되었고 응력해석을 위하여 각 부위의 치수가 확인되었다. 응력해석에서는 몇 가지 하중조건에서의 응력집중부위 위치와 응력 수준이 검토되었으며 손상볼트들의 절개면 위치와 형태가 어떤 종류의 힘에서 유래한 것인가를 추적하려 하였다. 내하중 시험은 실제 볼트들의 파단강도와 파괴형태를 확인함으로써 응력해석 결과를 비교하고 실제 제조품의 품질과 강도의 균일성 등을 가능하려 하였다.

기계적특성 분석과 함께 진행된 금속학적 조사에서는 파면에 남겨진 힘의 특성과 재질특성을 규명하려 하였고 미세조직을 관찰하여 재료의 기계적 성질에 대한 설명을 시도하였다.

3.1 Elastic Stress Analysis

볼트의 손상사진<사진 2>을 보면 볼트홀 부분이 볼트 인장시 주응력방향의 수직방향으로 절단된 것을 알 수 있다. 그런데 볼트의 치수를 재어보면 홀 내경 6.2mm, 외경 15.5mm 두께 11.6mm로 총 단면적이 100mm²가 되는데 볼트 하부의 나사산 가공부위의 볼트직경은 8mm로 주응력에 대한 단면적은 홀부위의 1/2수준이 되어 손상부위의 평균응력은 나사산 가공부위의 1/2에 불과함을 알 수 있다. 평균응력이 높고 외견상 응력집중이 심할 것으로 판단되는 볼트나사산 부위가 손상되지 않고 오히려 홀 부위가 손상된 사실은 응력해석의 필요성을 느끼게 하였다.



<사진 3> 인장시의 홀 부위의 응력분포

<사진 4> 토크에 의한 전단력분포

응력해석은 상용 CAE 프로그램이 사용되었으며 클

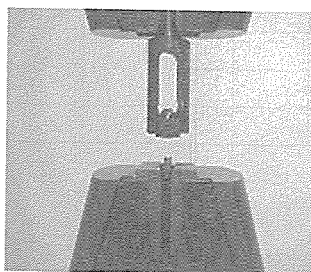
램프본체와 리드선의 접촉상태, 조립토크, 예압 효과에 의한 하중 등을 모사할 구속 조건들을 설정하고 해석을 연산을 수행하여 <사진 3>, <사진 4>에 예시한 바와 같은 해석결과를 얻었다. 이들 해석 결과를 종합하면 너트 조립시와 같은 전단하중 조건에서는 나사산 골 부분에 최대 전단력이 나타나며 전단력의 크기는 정상적으로 주조된 청동볼트의 전단강도에 근접한 수준으로 평가되었고 볼트 인장시에는 기하학적 형태와 모멘트의 작용으로 홀부분에서 최고 인장응력이 나타나며 국부적인 응력수준은 고장력 황동의 인장강도를 초과할 수 있음이 확인되었다.

그러나 본 해석은 탄성해석의 범주에 속하는 간단한 해석으로 부품의 파괴거동을 예측할 수 있는 것은 아니며 구체적인 응력치도 유한요소모델과 실물의 기하학적 상이성으로 신뢰할 만한 값을 제공하지는 않을 것으로 판단되었다.

3.2 Proof Load Test

가장 일반적인 재료강도의 평가법은 인장시험이라 볼 수 있으나 표준시료의 확보가 어려운 점과 인장하중 조건에서 부품의 손상형태를 확인하기 위하여 내하중 시험을 실시하였다. 시료의 크기가 작아 시편을 장착하기 위한 치구가 별도로 제작되었는데 볼트의 구속조건을 활선클램프에서와 동일한 조건으로 맞추기 위하여 적절한 형태로 가공하였다<사진 4>

또 볼트주조상태의 영향이 배제된 형태상의 특성을 보기 위하여 알루미늄 단조재로 동일한 형태의 볼트를 제작하여 파단위치와 변형형태를 관찰하였다.



<사진 5>
볼트 내하중 시험용 치구

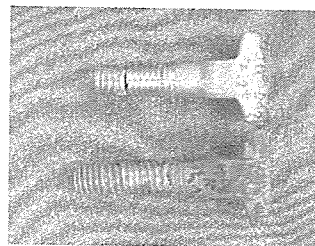
시험결과는 <표 1>에 정리하였는데 내하중 1.5ton급 재료는 청동2종과 구리로 주조된 것들이며 2.5톤급 볼트는 고장력 황동으로 주조된 것임이 화학성분 분석을 통하여 확

인되었다. 그리고 이와 같은 내하중 강도는 각 재료들의 일반적인 강도기준을 만족하는 것으로 평가되어 주조상태가 크게 불량하지는 않은 것으로 판단되었다.

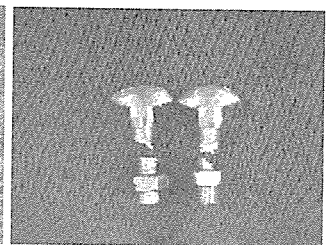
<표 1> 내하중시험결과

시료명	파단하중(ton)	시료명	파단하중(ton)
DS01-F13	1.5	DS01-F12	1.56
DS01-C13	1.7	DS01-D05	2.35
IJ00-A09	2.7	IJ00-B09	2.6
IJ00-C09	2.7	IJ00-D10	2.6
IJ00-E08	2.6	IJ00-F07	2.57
IJ00-F10	2.2	IJ99-D07	2.7
세명85A16	1.4	동남C18	3

<사진 6>, <사진 7>은 내하중 시험 후 파단된 시료의 형태를 보여주는 사진으로 실제 현장 손상볼트와 달리 볼트나사산 부위에서 손상이 발생하고 있으며 큰 소성변형량을 수반한 연성파괴의 형태를 보임을 알 수 있다.



<사진 6>
볼트의 인장파단형태

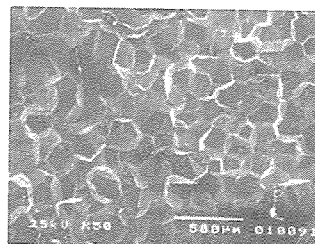


<사진 7>
단조재 볼트의 파단형태

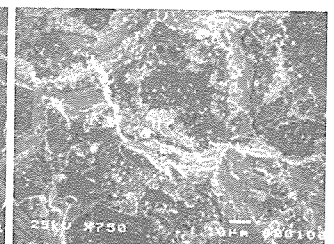
이와 같은 파괴형태를 탄성응력해석 결과와 비교하여 보면 홀부분이 파괴되는 현장손상 볼트는 피로나 상온크리프 등과 같은 저응력 조건에서 국부적 응력집중 부위가 손상을 입게된 경우이며 인장시험은 큰 소성량을 수반한 평균응력에 지배를 받는 파괴형태임을 알 수 있다.

3.3 파면검사

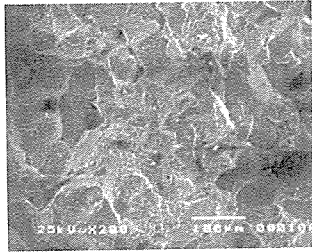
파면검사는 균열면의 형태를 관찰하여 재료에 가해진 힘의 성질과 재료의 저항특성을 관찰하기 위한 시험으로 손상된 볼트의 세정 파면, 세정하지 않은 파면, 미손상 볼트를 파괴하여 만든 파면을 전자현미경으로 검사하였다.



<사진 8>
세정한 상태의 볼트파면



<사진 9>
미세정 파면의 화합물



<사진 10>
인공파면의 형태

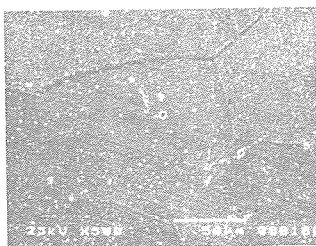
세정된 파면(사진 8)의 형태는 완전한 intergranular mode를 나타내어 재료의 입계강도가 취약함을 보여주었고, 파단면(사진 9)의 부착물들에 대한 EDS 분석 결과 전체적인 성분검사에서 발견되지 않았던 고농도의 납성분이 검출되어 입계에 납이 편석되었음을 확인하였다. 미손상볼트도 액체질소로 냉각 후 충격을 가하여 <사진 10>과 같은 intergranular 경향의 연취성 파면을 확보한 후 입계성분을 분석한 결과 여기서도 고농도의 납성분이 검출되어 납편석의 경향을 보여주었다.어 하여 <표 2>와 같은 결과를 얻었다.

<표 2> 파면성분

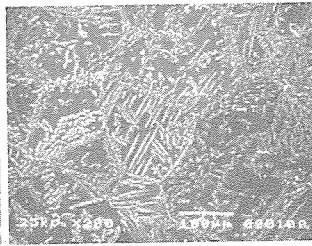
구 분	성 분						
	Cu	Zn	Sn	Pb	Fe	Mn	
손상볼트	42.7	29.6	-	23.7	1.3	1.5	
	11.3	10.3	-	77.2	-	-	
	53.8	35.5	-	6.7	0.7	2	
미손상 볼트	IJ00-1	54.2	31.6	-	9.1	1.6	2.3
	IJ00-2	49.8	35.2	-	10.5	1.6	2.0
	DS01-1	59.0	35.0	-	2.73	-	-
	DS01-2	85.8	1.6	11.5	0.97	-	-

3.4 조직검사

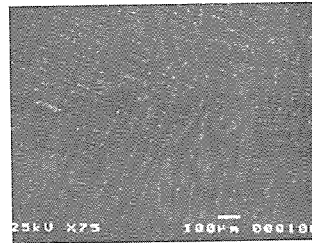
조직검사는 재료의 기계적 성질을 결정하는 미세조직상의 특징을 확인하기 실시되었다. 내하중 시험에서 2.5ton급 내력을 나타낸 볼트는 생산연도나 제작사에 관계없이 전부 아연성분이 35 ~ 37%정도 함유된 고장력 황동제품으로 확인되었으며 이들의 조직형태는 성분에 관계없이 <사진 11>, <사진 12>의 두가지 종류로 구성되어 있음이 확인되었고 그 외 1.5ton 가량의 내력강도를 나타낸 구리볼트와 청동볼트의 미세조직은 <사진 13>, <사진 14>와 같은 형태임이 확인되었다.



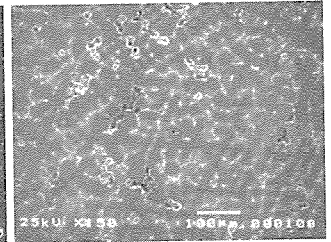
<사진 11> β 황동



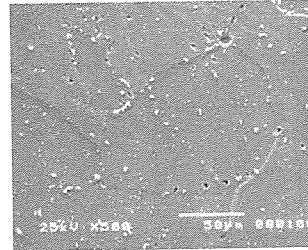
<사진 12> α&β 황동



<사진 13> 구리의 수지상정



<사진 14> 청동의 수지상정



<사진 15>
손상볼트의 조직형태

그러나 미손상 볼트들이 이와 같은 다양한 조직형태를 나타내고 있음에 반하여 30개의 현장손상 볼트는 전량 <사진 15>와 같이 입계기공이 포함된 β상 조직의 고장력 황동볼트임이 확인되었다.

유사한 조성과 내력강도를 지닌 볼트 가운데 유독 β상 matrix를 가진 황동볼트에서만 결정입계 손상이 발생되고 있다는 것은 β 황동의 입계강도가 동일 조성의 α & β 황동에 비하여 현저히 취약하기 때문이며 이와 같은 차이는 입계에 석출된 침상의 α상 화합물이 결정입계를 강화하는 역할을 하고 있기 때문으로 보인다.

연마된 표면을 대상으로 한 볼트재료들의 EDS 정량 분석결과를 성분은 <표 3>에 나타내었는데 납성분이 검출되지 않고 있음을 알 수 있다

<표 3> 손상볼트의 EDS 분석치

구 분	성 분					
	Cu	Zn	Sn	Pb	Fe	Mn
손상볼트 1	60.3	36			0.5	1.3
손상볼트 2	58	37			0.7	2.3
손상볼트 3	58.7	37			0.7	1.9
손상볼트 4	57	38			0.7	2.3

4. 시험결과 분석

손상된 볼트는 전량 입계파괴의 형태를 나타내어 입계취약성을 보여주고 있었는데 여러 가지 재질의 볼트 중 유독 β상 기지조직을 가진 고장력 황동에서만 균열 손상이 발생되고 있는 점으로 보아 β 황동의 입계강도에 현저한 약점이 있는 것으로 판단되었다. 특히 내하중 시험에서 높은 강도를 기록한 고장력 황동이 절반 정도의 강도를 지닌 청동이나 구리 볼트도 손상되지

많은 사용환경에서 시간의 경과에 따라 손상품이 발생되는 현실은 베타황동의 입계 상온크리프 강도가 특히 취약하다는 결론에 도달하게 하며 이와 같은 저응력 조건에서의 파괴는 탄성응력분포에서 최고응력 발생부위를 기점으로 균열이 발생하게 하여 나사산 부위가 아닌 볼트 홀 부위가 손상되게 한 것으로 판단된다. 본고에서 언급하지는 않았으나 고장력 재료의 피로강도를 가늠하기 위하여 적절한 하중으로 800만 사이클 정도의 가진력을 주었으나 파괴에는 실패하여 피로강도는 상당히 강한 것으로 평가되었다.

5. 결론

배전계통에 사용되는 활선용 클램프의 균열손상원인을 규명하기 위하여 기계금속학적 분석을 실시한 결과 볼트 손상은 베타기지조직 형태로 주조된 볼트에서만 발생하는 현상임이 확인되었다.

볼트의 손상위치와 인장시험결과는 볼트 손상시의 응력수준이 탄성한도 이내 것임을 추정하게 하였다.

이것은 베타조직으로 주조된 고장력황동 제품의 크리프강도가 낮음을 의미하는 것으로 생각된다.

고장력황동 주조재 볼트중 알파와 베타 혼상조직을 가진 제품에서도 손상 볼트와 마찬가지로 상당수준의 납 편석현상이 확인되었지만 손상된 것은 없었다.

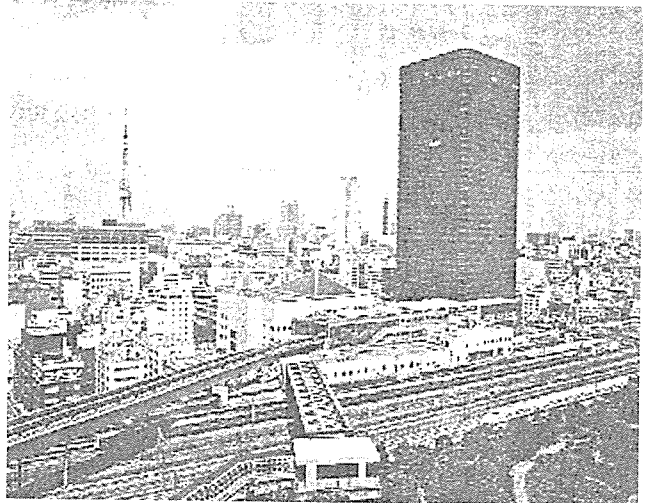
베타황동이 보여주는 입계취약성의 본질이 저온크리프를 일으키는 납의 물성의 다른 표현인지 아니면 베타황동 결정립 구조 자체의 문제인지를 확인하기 위해서는 납 성분이 배제된 베타황동 시료를 제작하여 장기간의 저온크리프 시험을 해야 할 것으로 판단되었으나 조사기간의 제약으로 이 이를 포기 하였고 활선클램프 볼트의 손상원인이 재료의 입계강도 문제에 연유한 것이란 결론으로 본 조사를 종결하게 되었다.

세계무역센터빌딩의 Hybrid 발전시스템

* 본 자료는 일본 열병합발전센터자료에서 발췌·번역한 것임.

1. 머리말

세계무역센터빌딩은 昭和 45년(1970) 3월 가스미가 세키빌딩에 이어 일본에서 두번째로 탄생한 지상 40층, 연면적 약 15만4천㎡의 초고층빌딩이다(그림-1). 본빌딩은 JR 야마노데선 「하마마쓰」, 지하철 「大門」 및 하네다공항에의 Mono-Rail 시발역에 인접하고 별관 1층에는 도영(都營), 장거리버스의 발착장을 갖추고 터미널 기능을 하고있는 한편 결혼식장·레스토랑 등 약 80개 회사의 사무실, 40軒의 음식점이 입주한 인구 약 8천명, 평일 유동인구 10만명을 넘는 다목적 대형건물이다.



<그림-1> 건물전경사진