

송전급 자기재 애자의 알루미늄 증가에 따른 특성 분석

최인혁¹⁾, 박준호¹⁾, 강병규¹⁾, 이동일¹⁾, 원봉주²⁾, 김원진²⁾, 오창효²⁾
전력연구원¹⁾, 한국전력공사²⁾

A Characteristic Analysis of porcelain insulator for Transmission by additional Alumina

I. H. Choi¹⁾, J. H. Park¹⁾, B. K. Kang¹⁾, D. I. Lee¹⁾, B. J. Won²⁾, W. J. Kim²⁾, C. H. Oh²⁾
KEPRI¹⁾, KEPCO²⁾

Abstract - Alumina 첨가량의 변화에 따라 국산 경년품 애자와 신 품 애자의 특성을 분석하고, 외국산 신품애자와 비교분석하였다. 그 결과 알루미늄이 17% 첨가된 2001년도 자기애자가 알루미늄 첨가 량이 20%된 2004년 신품애자에 비하여 기계적 특성이 10%정도 낮 았다. 또한, 2001년도에 제조한 애자의 자기 상대밀도는 이론밀도의 96%에 도달하였으나 2004년도에 제조한 애자의 상대 밀도는 이론 밀도의 98%에 도달하였으며, 애자의 균일성을 나타내는 Qs 값은 5.01로 높게 나타났다.

1. 서 론

애자는 절연물로서 송전탑과 선로를 연결하는 동시에 전선을 지 지하는 중요한 송전용 기구재로 점토, 장석, 도석, 그리고 alumina를 주원료로 이용하여 제조되고 있다. 국내에서 생산된 자기 애자에 첨 가된 알루미늄 양의 변화에 맞추어 '89년도, '95년 제조한 36000lbs 불소켓형 현수애자를 국내의 송전선로에서 철거된 애자와 2004년에 제조된 신품애자의 알루미늄 양은 조금씩 증가해 왔다. 그 애자의 alumina 첨가량은 '89년도 산은 8 wt.%, '95년도 12 wt.%, 2001년도 17wt%, 2004년도 20 wt.% 까지 증가해 왔다. 그러나 알루미늄 증가 에 따른 자기애자의 성능평가 자료는 미비한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 송전용 자기애자의 년도별 alumina의 첨가 량 변화에 따른 경년품(1989년, 1995년) 및 신품(2001년, 2004년) 애 자와 외국산 신품 애자를 대상으로 애자의 물리적, 화학적 특성 변 화를 조사하고 이를 토대로 기계적, 전기적 특성을 분석하고자 한 다.

2. 본 론

2.1 시료 채취 및 실험방법

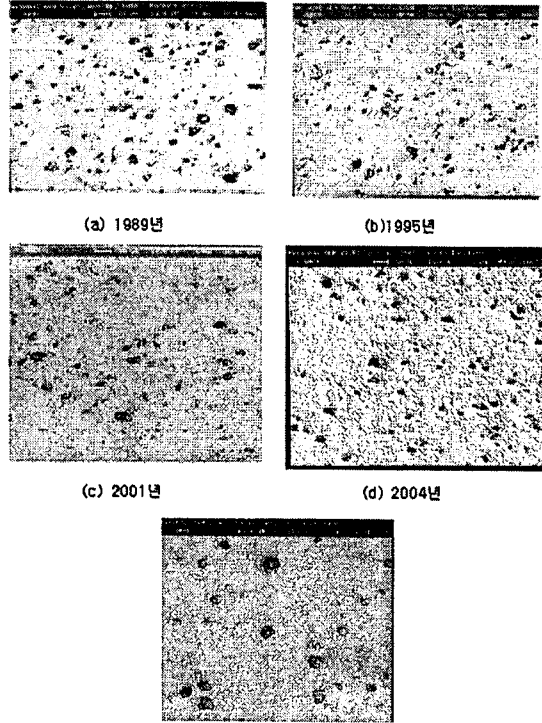
자기에 첨가된 alumina 첨가량의 변화에 따라 경년품 1989년, 1995년과 신품 2001년, 2004년 36,000lbs 불소켓형 현수애자를 대 상으로 시험하였으며, 현재 국내에 송전선로에 많이 사용되고 있는 외 국산 2000년 시료과도 비교분석하였다.

애자에 도포된 유약을 연마하여 제거한 자기의 일부분을 분쇄하 여 분말로 만들어 philips사의 x-선 형광분석기(XRF)로 화학성분을 분석하였고 동일 분말로 philips사의 x-선 회절분석기(XRD)로 scanning speed를 2°/min으로 하여 결정상을 분석하였다. 자기의 미세구조를 분석하기 위하여 일부분을 잘라내어 마운팅한 후 표면을 연마하여 주사전자현미경(SEM : R. J. Lee사)으로 기공의 크기와 형태를 관찰하였고, 자기의 열팽창률을 가로×세로×깊이가 0.5×0.5×5mm 인 시편을 제작하여 열팽창계수 측정기(Dilatometer : tokyo industrial company)로 650℃에서 측정하였다.

2.2 결과 및 고찰

소결하는 과정에서 생성되는 기공의 크기 및 형태가 애자의 물리 적 특성에 미치는 중요한 요소이기 때문에 주사전자현미경으로 미 세조직을 관찰하였으며, '89년, '95년, 2001년, 2004년도 애자의 미세 조직을 분석한 사진을 그림 1에 나타내었다. '89년도에 제조한 애자 의 기공 수보다 2004년도에 제조한 애자의 기공 수가 현저하게 감 소하고 있는 것을 알 수 있다. 즉 제조 기술의 발전으로 인하여 '89 년 및 '95년에 생산한 애자 보다는 2001년, 2004년도에 제조한 자기 의 소결밀도가 높고, 이로 인하여 기계적 특성이 우수하리라 기대할 수 있다. 또한, 2004년도 국내산 애자와 외국산 애자는 기공형태가 완만한 타원형을 보여주고 있고 기공의 수는 외국산 애자가 적은 반면 2004년 애자의 기공의 수는 약간 많다. 그러나 기공의 크기를 비교하여 보면 외국산 애자의 기공의 크기보다는 2004년에 제조한 자기의 기공의 크기가 작다는 것을 알 수 있다.

소성된 시험 시료 자기 애자의 화학성분 분석 결과를 국내산 신 품 2001년과 2004년 및 외국산 2000년을 표 1에 나타내었다. 소지의 화학성분을 x-선 형광분석기로 조사한 결과 국내 2004년도 애자는 2001년 애자보다 Al₂O₃가 약 2% 정도 더 증가한 것을 알 수 있다. 반면에 외국산 애자의 원료에 포함되어 있는 Al₂O₃ 양은 31.74 wt% 로 국내산 애자들보다 알루미늄 양은 적다.



(e) 외국산 2000년 시료
〈그림 1〉 주사전자현미경으로 관찰한 기공의 형태

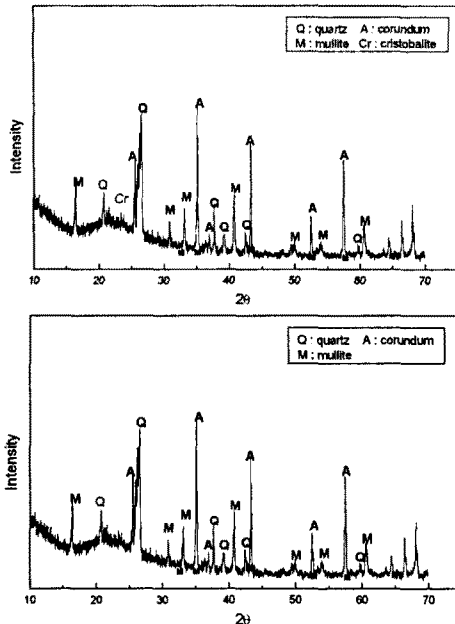
〈표 1〉 애자의 화학성분

원료	2001년	2004년	외국산 2000
SiO ₂	58.77	59.12	61.03
Al ₂ O ₃	35.22	37.12	31.74
CaO	0.25	0.27	0.19
MgO	1.01	-	1.09
Fe ₂ O ₃	0.33	0.36	0.27
TiO ₂	0.17	0.54	0.16
Na ₂ O	1.87	0.42	2.02
K ₂ O	1.96	2.11	3.15

소성한 2004년도 자기의 결정 상태 및 결정 양을 조사하기 위하 여 x-선 회절 분석기를 이용하였고 결과를 그림 2에 나타내었으며, quartz, cristobalite, mullite 및 corundum 등이 존재한다는 것을 알 수 있다. 또한 x-선 회절 분석기로 조사한 결정 양을 표 2와 같으 며, 2004년도에 제조한 애자의 결정을 과거 2001년도에 제조한 애자 의 결정 상태와 비교하여 보면 mullite와 cristobalite의 양은 거의 동일하지만 corundum 양은 16.5 wt.%에서 22.35 wt.%로 증가한 것 을 볼 수 있다. 외국산 애자의 corundum 양은 국내 2001년도 제조한 애자의 corundum 양과 동일하다. 원료 배합할 때 투입한 알루미늄 의 양은 20wt%였는데, 소성한 후의 결정량은 22.35wt%으로 증가하 였다. 그 이유는 배합한 원료 중 도석, 장석 및 점토에 포함된 Al₂O₃중 일부는 SiO₂와 결합하여 mullite(3Al₂O₃·2SiO₂)를 형성하였 고 나머지 일부는 corundum 결정을 형성하였기 때문에 최초로 투 입한 순수한 알루미늄 양보다는 많기 때문이다. 따라서 이러한 기공 의 형태가 자기의 기본적인 물성에 어떠한 영향을 미치는지를 조사 하기 위하여 자기의 상대밀도, 경도 및 파괴인성 등을 조사 하였으 며, 그 결과를 표 3에 나타내었다.

<표 2> XRD로 정량 분석한 결정 양

결정	제품	1989년	1995년	2001년	2004년	2000년
Mullite (wt%)		12.7	17.11	16.5	16.2	10.65
Quartz (wt%)		5.46	3.72	3.5	2.26	3.43
Cristobalite (wt%)		4.0	5.74	0.5	0.55	-
Corundum (wt%)		8.10	9.08	16.5	22.35	16.06



<그림 2> 측정된 애자 x-선 회절 분석

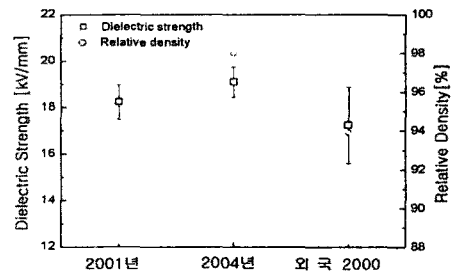
<표 3> 측정된 경도, 탄성율, 파괴인성

제조년도	절대밀도 [g/d]	상대밀도 [%]	탄성율 [GPa]	표면경도 (Hv)[GPa]	파괴인성(K _{IC}) [MPa·m ^{1/2}]
2001년	2.54	96	96.2	6.9	1.7
2004년	2.61	98	97.5	7.1	1.9
외국산	2.48	93.9	88.2	6.9	1.6

2004년에 제조한 애자의 절대밀도가 높은 것은 다른 원료에 비해 상대적으로 높은 비중을 갖는 알루미늄의 분말이 더 첨가되었기 때문이다. 절대밀도를 가지고 자기의 기공 상태를 알 수 없기 때문에 상대밀도를 측정된 결과 자기의 이론밀도에 거의 비슷한 98%에 도달하였다. 반면에 외국산 자기의 상대밀도는 약 94%에 이르렀다. 이렇게 상대 밀도가 향상된 이유는 터널가마에서 열원으로 사용하는 경유를 천연가스(LNG)로 대체하여 사용 제조하였기 때문에 애자의 상대밀도가 향상된 것으로 사료된다. 이는, 경유를 사용하면 가마 내부의 온도 조절이 컴퓨터로 자동 제어하는 천연가스 보다는 쉽지 않아 제품의 편차가 존재하였으나, 열원을 천연가스로 대체함으로써 제품의 편차를 줄일 수 있을 뿐 아니라 전체적으로 제품의 상대밀도 증가가 가능했다. 자기의 상대밀도 증가로 인하여 기공 상태에 영향을 받는 탄성율, 표면경도 및 파괴인성 값이 증가하였다. 전체적으로 기계적인 특성이 약 10% 정도 향상되었음을 알 수 있다. 자기의 기계적인 특성이 상당히 조정되었다고 해서 애자의 전기적 성능이 우수하다고는 할 수 없다. 애자는 자기, 금구 및 자기와 금구를 연결하여주는 시멘트로 구성되어 있기 때문에 자기의 기계적인 특성만을 가지고 애자의 성능을 거론할 수 없다. 2001년에 제조한 자기의 기계적인 특성이 2000년도에 제조한 외국산 자기의 기계적인 특성보다 더 우수하지만 애자의 성능시험에서는 오히려 약간 부족한 현상을 보이는 것은 복합적인 애자의 구조에 관한 설계가 부족하기 때문이고, 생산 공정이 외국산 보다는 자동화 되지 못했기 때문이다.

전기적 특성을 조사하고자 자기의 절연파괴시험과 상대밀도 측정하여 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 일반적으로, 세라믹 재료의 이론에 따르면 상대밀도가 높을수록 절연파괴전압도 높다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 상대밀도가 높을수록 자기에 포함되어 있는 기공율이 적기 때문에 절연파괴전압이 높다. 2004년도에 제작한 국내 A사의 상대밀도가 가장 높은 98%의 이론밀도를 나타내기 때문에 절연파괴전압도 가장 높은 19.1 kV/mm를 나타내고 있다. 자기의 물성 자료를 분석하여 보면 외국산 자기의 물성보다는 국내산 자기의 물성이 약 10%정도 우수하다. 그러나 앞서도 언급하였듯이 자기의 물리적 특성이 우수하다고 하여 애자의 성능 평가에서도 우수하다고 할 수는 없다. 따라서 애자의 종합적인 평가는 전기적 성능 시

험을 실시한 결과를 가지고 논하여야 한다.



<그림 3> 절연파괴전압과 상대밀도

한편, 한전 구매시방서에 명시된 여러 가지 시험 방법에 따라 2004년도에 제조한 애자를 시험하였다. 표 4에서 볼 수 있듯이 애자의 전기적 성능은 한전 구매 시방서에 명시된 기준치를 만족하였다. 파괴파괴하중 및 경년변화시험의 기준치는 모든 시료는 16,500 [kg] 하중을 견딜 뿐 아니라 Qs 값이 3.0 이상이어야 한다. 현재 생산하고 있는 애자의 파괴파괴하중의 평균값은 19,947 [kg]이고 Qs = 5.01이다. 경년변화 후 파괴파괴하중을 시험한 결과 평균값은 20,104 [kg]이고 Qs = 5.30이다. 따라서 제품의 균일화가 과거 제품에 비해 많이 향상되었다. 그 이유는 앞서도 언급하였듯이 알루미늄의 양을 증가시켰으며 또한 터널가마에서 사용되는 열원을 경유에서 천연가스로 대체함으로써 가마 내부의 분위기가 훨씬 안정화되었기 때문이라고 사료된다.

<표 4> 전기적 성능 시험 결과

시험항목	한전 기준치	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
		No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
흡습	153kg/d, 12HR	양호	양호	양호		
유중파괴 전압	110kV	150	154	164	158	162
타격내하중	104kg-m	양호	양호	양호		
파괴파괴하중	16,500kg	18,950	19,890	19,890	21,180	20,470
		19,420	19,700	19,490	19,630	20,850
상용주파건조	80kV	83	84	83		
상용주파주수	50kV	57	55	55		
뇌충격섬라 전압	정극성	140	19	139		
	부극성	145	143	144		
경년변화	16,500kg	19,420	20,430	19,970	19,220	21,420
		20,450	19,900	20,320	20,570	19,330

3. 결 론

알루미늄 첨가량에 따른 국산 경년품 애자와 신품애자의 특성 비교와 2004년 신품애자에 대해 전기적 특성시험을 실시하여 그 결론은 다음과 같다.

(1) 2001년도 자기애자의 알루미늄 첨가량은 17%이고 2004년도 알루미늄 첨가량이 20%로였으며, 자기 애자의 성능은 10% 정도 향상되었다.

(2) 2001년도에 제조한 애자의 자기 상대밀도는 이론밀도의 96%에 도달하였으나 2004년도에 제조한 애자의 상대 밀도는 이론밀도의 98%에 도달하였으면 애자의 균일성을 나타내는 Qs 값은 5.01로 높게 나타났다.

이와 같이 2004년도 애자의 성능이 향상된 이유는 알루미늄의 양을 증가와 터널가마에서 사용되는 열원을 경유에서 천연가스로 대체함으로써 가마 내부의 분위기가 안정화되었기 때문이라고 사료된다.

[참고 문헌]

[1]. W. M. Carty and U. Senapati, 'Porcelain-raw Materials, Processing, Phase Evolution and Mechanical Behavior,' J. Am. Ceram. Soc., 81(1), 3-20, 1990.
 [2]. K. Hamano, Z. Nakagawa and M. Hasegawa, 'Improvement of Mechanical Strength of Porcelain Bodies by Grinding of Raw Materials,' J. Ceram. Soc. Jpn.(in Jpn), 100(8), 1066-1069, 1992.
 [3]. B. Zivanovic, S. Isakovski, M. Aleksic, N. Hajdukovic, J. Cinkler and J. Ranogajec, 'Electroporzellan Mit Sehr Guten Mechanischen Eigenschaften,' Keram. Zeitschrift, 32(7), 367-369, 1980.