

고전압 COS 퓨즈용 소음기의 소음저감 및 전류차단 성능에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Noise Reduction
and the Feasibility of Short Current of a Silencer
for a High Voltage COS Fuse

이 동 훈[†] · 송 화 영^{*}

Dong-Hoon Lee and Hwa-Young Song

(2008년 6월 10일 접수 ; 2008년 7월 4일 심사완료)

Key Words : Cut Out Switch Fuse(COS 퓨즈), Diffuser Type Silencer(디퓨저형 소음기), Impulse Noise(충격성 소음), Porosity(공극율), Reactive Type Silencer(반사형 소음기), Residual Current(잔류전류), Short Current(전류차단)

ABSTRACT

This experimental study describes the noise reduction and the feasibility of short current of a silencer for a high voltage COS(cut out switch) fuse of a transformer. When a high voltage COS fuse becomes a short circuit by the over current, the strong impulse noise over 150 dB(A) is generated. For the purpose of the reduction of impulse noise, in this study, the diffuser type and the reactive type silencers have been designed and tested, respectively. And also the electrical test on the short current is performed. From the experimental results, the well designed reactive type silencer has been shown to have the noise reduction of about 20 dB(A). It has been found that the feasibility of short current for the COS fuse is closely related to the porosity of the silencer.

1. 서 론

고전압 COS 퓨즈는 변압기를 보호할 목적으로 쓰이며, 정격전압 25800 V로 인가된 상태에서 전류공급이 10 kA 이상이 되면, 퓨즈 도선이 용단되어 전류를 차단하도록 설계되어 있다. 문제는 COS 퓨즈 도선이 용단될 때 발생한 강한 스파크가 퓨즈통 내부 표면에 도포되어 있는 절연성 도료와의 강렬한 화학 작용에 의하여 폭발하게 되고, 이로 인하여 펄스제트를 동반한 강한 충격성 소음이 퓨즈통 출구로 방

사된다.

퓨즈통 출구로 방사된 충격성 소음은 주변지역 거주자 또는 보행자의 청각기능을 손상시킬 수도 있으며, 애자를 비롯한 주변 구조물을 진동/파괴시키는 주요 요인이 되기도 한다. Fig. 1은 퓨즈 도선이 용단될 때 퓨즈로부터 2m거리에서 측정된 충격성 소음의 시간파형(Fig. 1(a-1))과 피크음압에서 분석한 주파수별 음압레벨(Fig. 1(a-2))을 도시한 것이다.

그래프에서 보듯이 순간적으로 70 dB(A) 이상의 음압상승을 볼 수 있는데, 이것은 소총수가 M16 소총을 사격할 때 수음하는 정도의 소음세기와도 같다. 또 Fig. 1(b)는 10 kA 이상의 과전류가 공급될 때, 전류흐름이 한 주기 이내에서 정상적으로 차단되는 전류파형을 보여주고 있다.

[†] 교신저자; 정회원, 서울산업대학교 기계공학과
E-mail : ldh@snut.ac.kr

Tel : (02)970-6331, Fax : (02)979-7331

^{*} 서울산업대학교 에너지환경대학원 에너지시스템공학과

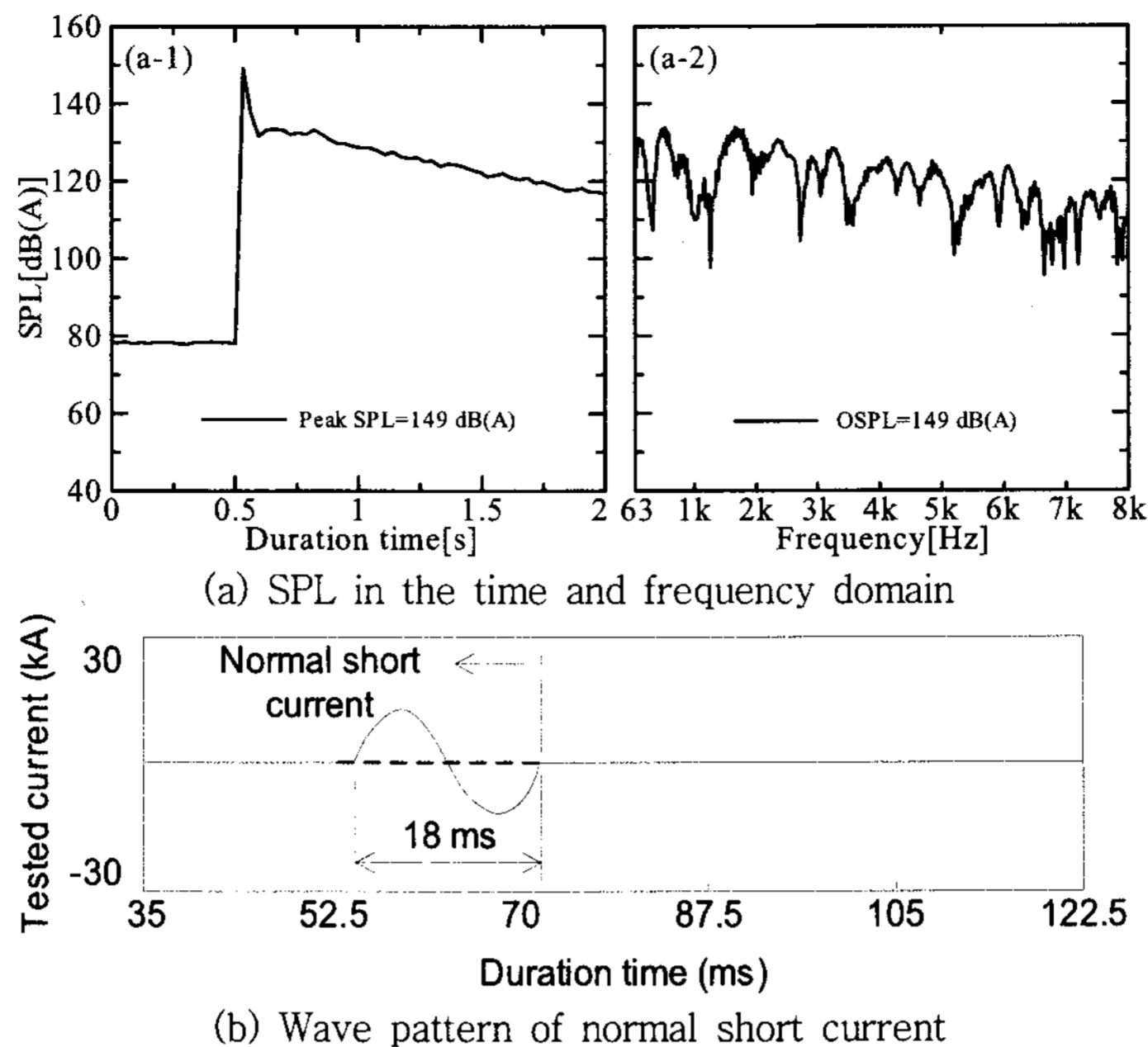


Fig. 1 Sound pressure level in the time and frequency domain of the impulse noise and wave pattern of normal short current

한편 펄스제트를 동반한 세기가 강한 충격성 소음에 대한 저감방안의 하나로 퓨즈통 출구에 소음기를 부착하는 것을 들 수 있다. 소음기의 대표적인 유형으로는 흡음형과 반사형이 있는데, 흡음형은 강한 펄스제트에 의한 흡음재의 비산 또는 퓨즈 도선과의 전기절연 문제 때문에 검토 대상에서 제외하였다. 따라서 반사형 소음기가 이 연구의 대상으로 검토되었으며, 선행 연구^(1,2,3)에서 Fig. 1과 유사한 수준의 소음 세기를 발생시키는 충격파관 장치를 제작하여 다양한 제원을 갖는 디퓨저형 소음기와 반사형 소음기를 부착하고 소음저감 및 가스배압을 파악하기 위한 시험을 수행하였다.

그러나 이와 같은 일련의 선행 연구를 수행하면서 소음기 설계에서 가장 고민스러웠던 점은 퓨즈 도선의 용단에 의하여 폭발 발생시 퓨즈통 내부의 폭발 압력에 대한 정보를 어떻게 확보할 수 있는지 그리고 이 정보를 토대로 순식간에 가스를 배출시킬 수 있는 배압설계는 어떻게 할 것인가가 문제였다. 즉 소음기의 소음저감 성능이 아무리 좋더라도 배압 때문에 퓨즈통 내부에 잔존하는 가스가 순식간에 외부로 배출되지 못하면, 퓨즈가 단락되었더라도 가스입자를 통한 잔류전류가 지속되어 변압기를 과전류로부터 보호할 수 없기 때문이다. 이와 같은 문제의

봉착으로 선행 연구단계에서 많은 고민을 하였으나, 현장 여건상 퓨즈통 내부의 폭발압력을 측정할 수 없었기 때문에, 소음저감 성능과 배압을 함께 고려한 소음기의 설계는 할 수 없었다. 다만 이에 대한 최선의 대안으로 충격파관 장치에 소음기를 부착하고 소음성능을 측정하는 과정에서 소음기를 통하여 방사되는 충격성 소음의 지속시간이 길고 짧은 정도를 음원의 지속시간과 비교하여 비슷한 정도의 지속시간을 가지면, 소음기에 큰 배압이 걸리지 않는 것으로 판단하였다⁽⁴⁾.

따라서 이 연구에서는 이상과 같은 선행 연구과정을 통하여 선정된 디퓨저형 소음기 2종과 반사형 소음기 2종에 대하여 현장 시험을 실시하였다. 소음기의 소음저감 성능은 퓨즈통 출구에 소음기를 부착하였을 때와 부착하지 않았을 때의 음압레벨을 측정하여 평가하였다. 또 전류흐름이 한 주기이내에서 정상적으로 차단되는지를 판정하기 위하여 소음기를 부착하였을 때의 전류파형을 측정하였다. 이러한 시험은 COS 퓨즈의 단락시험용 전기시험 설비가 갖추어져 있는 00전기연구소에서 수행하였다.

2. 실 험

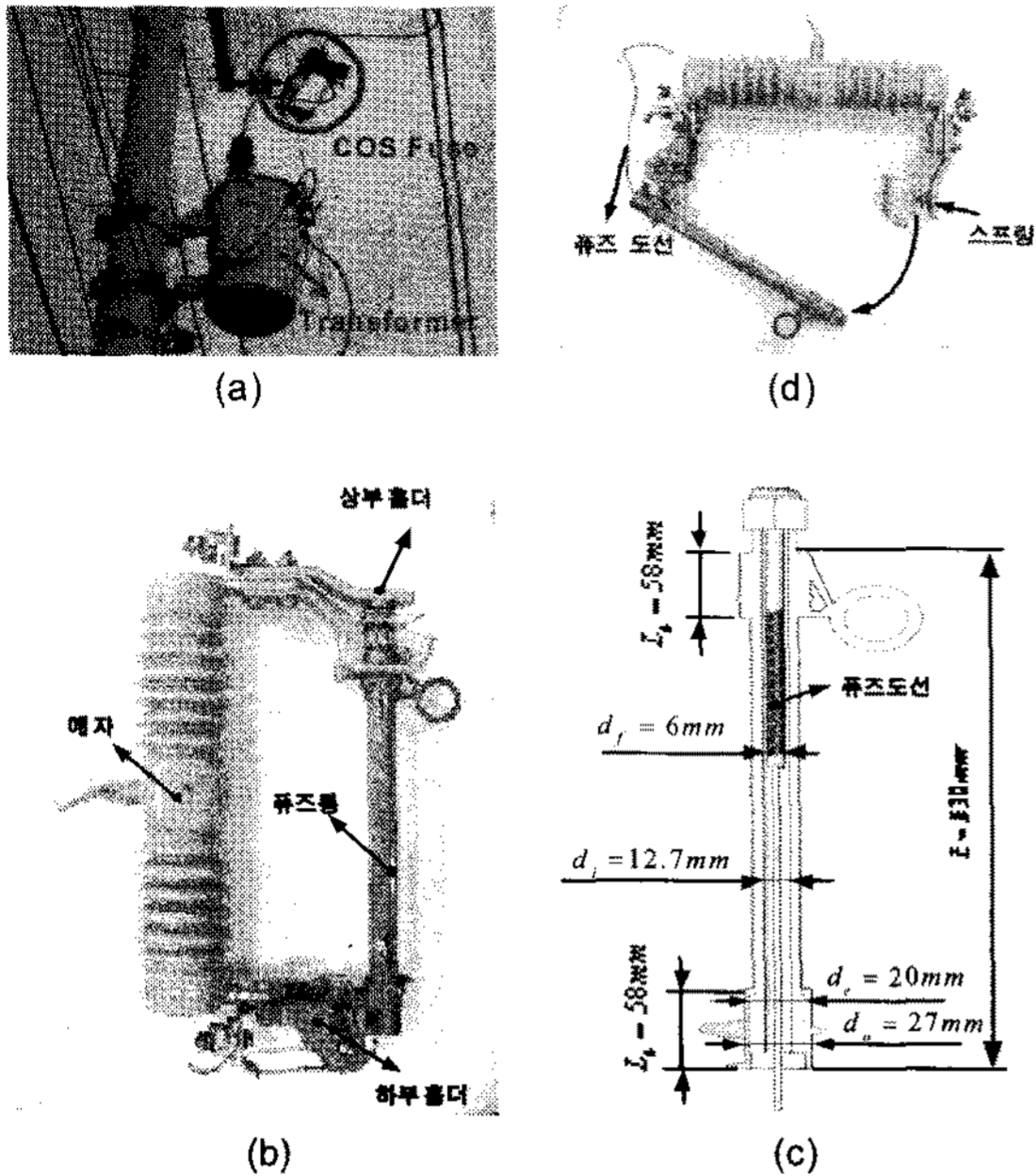


Fig. 2 Configuration and dimension of a COS fuse

Table 1 Regular voltage and current of a COS fuse

Voltage (kV)	Current (A)	Frequency (Hz)	Short current (kA)
25.8	100	60	10

2.1 COS 퓨즈의 구성과 기능

Fig. 2는 COS 퓨즈의 구성과 제원을 나타낸 것이다. 먼저, Fig. 2(a)에서 보듯이 COS 퓨즈는 변압기의 입력 전압측에 장착되어 사용된다. COS 퓨즈는 Fig. 2(b)와 같이 애자, 퓨즈통 그리고 상부와 하부 홀더로 구성된다. 그리고 Fig. 2(c)는 퓨즈통의 단면도를 나타낸 것으로서 퓨즈 도선이 용단될 때 발생하는 고온, 고압의 가스가 대기로 방출되도록 하부 홀더는 열려 있고, 상부 홀더는 우수유입을 방지하기 위하여 막혀 있는 형태이다. COS 퓨즈는 퓨즈통 내에 있는 퓨즈 도선이 용단될 때 Fig. 2(d)와 같이 애자와 퓨즈통이 분리되는 구조로 되어 있다. 퓨즈통은 내경 $d_i = \varnothing 12.7\text{mm}$, 외경 $d_o = \varnothing 27\text{mm}$, 총 길이 $L = 330\text{mm}$ 그리고 상부와 하부 홀더의 양단 길이는 각각 $L_h = 58\text{mm}$ 이고, 안지름 $d_h = \varnothing 20\text{mm}$ 로서, 내열성 및 내식성이 강한 fiber glass 합성수지로 제작되어 있다.

Table 1은 한전표준구매시방서 ES 151-961⁽⁵⁾에

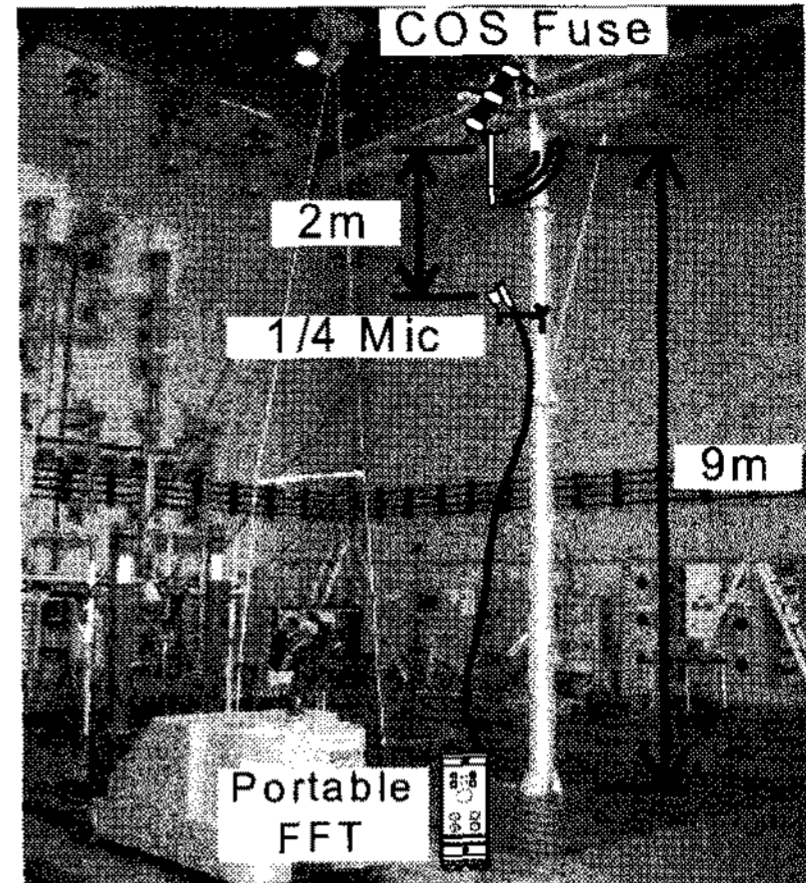


Fig. 3 Test facility for the measurement of impulse noise and short current of a COS fuse

명시되어 있는 고전압 COS 퓨즈의 정격규격을 나타낸 것이다. COS 퓨즈의 정격 전압과 전류는 25.8 kV와 100 A이고, COS 퓨즈의 단락 전류는 10 kA이다.

2.2 COS 퓨즈의 성능시험

COS 퓨즈의 성능시험에서는 퓨즈 도선의 전기적인 단락성능을 확인하고, 퓨즈가 단락될 때 방사되는 충격성 소음을 측정한다. 퓨즈의 단락시험의 기준은 전압 27.0 kV, 전류는 약 10 kA를 퓨즈에 인가시켜 퓨즈 도선이 정상적으로 단락되는지를 판정하는 시험이다. 단락 시험은 IEEE 표준코드 C34.41⁽⁶⁾에 의거하여 Fig. 3과 같은 00전기연구소의 시험실에서 수행하였다.

시험실의 크기는 15×20×16 m이고, 준자유 음장 조건을 갖추고 있었다⁽⁴⁾. 또 Fig. 3에서 보듯이 COS 퓨즈는 일반 전주에 설치된 변압기 높이인 지상으로부터 약 9 m 높이에 장착하고, COS 퓨즈로부터 2 m 떨어진 지점에서 충격성 소음의 음압을 측정하였다. 소음측정에 이용된 마이크로폰은 충격성 소음의 세기를 감안하여 1/4"(B&K 4938)를 사용하였다.

2.3 현장 시험용 소음기

현장 시험용 소음기는 Fig. 4에서 보듯이 디퓨저형 2종과 반사형 2종으로서, 퓨즈통의 원주면에 다공 구멍을 뚫어 만든 디퓨저형인 A-1과 A-2 소음기는 퓨즈통 자체를 소음기의 기능을 갖도록 설계한 것이다. 그리고 B-1과 B-2 소음기는 퓨즈통 내부에 다공 플러그(plug)를 설치함과 동시에 퓨즈통 원주

면에 다공 구멍을 뚫어 지름 60 mm의 외통으로 감싼 반사형 소음기이다.

도시된 소음기의 세부 제원을 살펴보면, A-1 소음기는 Fig. 4(a)에서 보듯이 퓨즈통의 원주상에 지름 $d_h=3\text{ mm}$ 인 구멍을 뚫어 $\sigma_1=34\%$ 정도의 공극율이 되도록 제작하였으며, Fig. 4(b)에 도시된 A-2 소음기는 A-1 소음기의 공극율에 $\sigma_2=29\%$ 정도의

공극율을 더 갖도록 제작하였다. 두 경우 모두 출구부의 지름은 COS 퓨즈 도선이 용단될 때, $\phi 6\text{ mm}$ 인 퓨즈 도선이 퓨즈통을 잘 빠져나가도록 함과 동시에 소음기 역할을 할 수 있도록 $d_2=10\text{ mm}$ (원래의 출구 안지름은 20 mm임)로 축소시켰다.

Fig. 4(c)에 도시된 B-1 소음기는 퓨즈통 내부와 출구부에 공극율 $\sigma_1=50\%$ 인 다공 플러그를 3단으로 설치하고, 1단과 2단 다공 플러그 사이의 퓨즈통 원주면에는 $\sigma_2=30\%$ 의 공극율을 갖도록 구멍을 뚫었으며, 플러그 간격은 40 mm이다. 또 소음기 외통은 지름 $d_e=60\text{ mm}$ 로서, 외통 출구면에는 $\sigma_3=12.5\%$ 의 공극율을 갖도록 구멍을 뚫었다. 그리고 B-2 소음기를 도시한 Fig. 4(d)는 Fig. 4(c)와 비교하여 모든 제원은 같으나, 단지 공극율 $\sigma_1=50\%$ 인 다공 플러그를 퓨즈통 출구에는 설치하지 않고 내부에만 2단으로 설치한 경우이다. 또 Fig. 4(c)와 Fig. 4(d)에서의 다공 구멍의 지름은 모두 $d_h=3\text{ mm}$ 이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 디퓨저형 소음기의 소음 저감 및 전류차단 특성

Fig. 5는 COS 퓨즈통에 디퓨저형인 A-1 소음기를 부착한 상태에서 COS 퓨즈 도선이 용단될 때의 전류파형을 측정된 결과이다. 소음기의 소음저감 성능

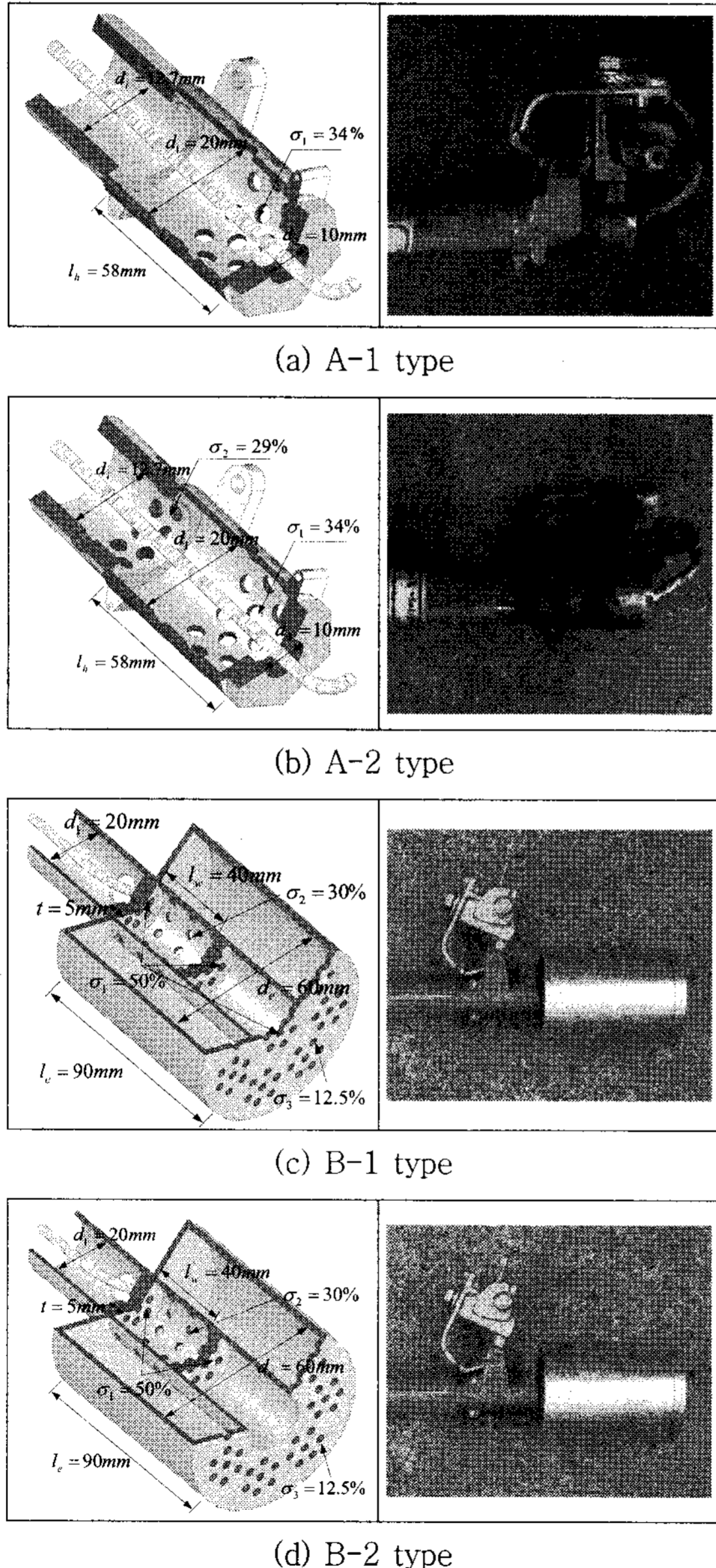
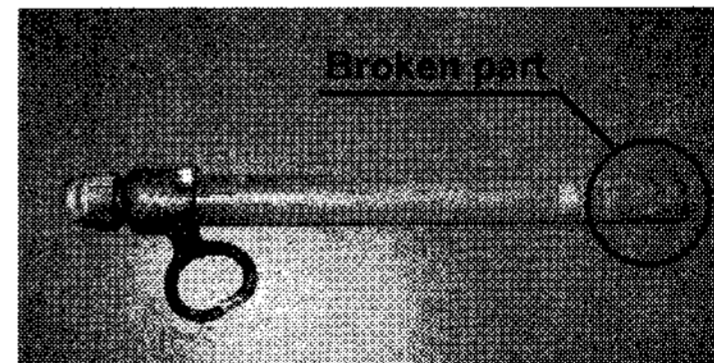
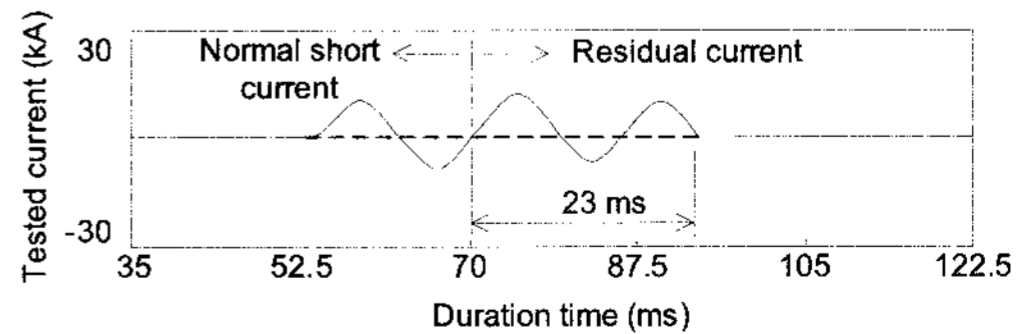


Fig. 4 Photograph and cross section of the tested silencers



(a) Broken part of A-1 type silencer



(b) Wave pattern of residual current

Fig. 5 Photograph on the broken part of A-1 type silencer and wave pattern of residual current

을 함께 측정하려 했으나, 퓨즈 도선이 용단될 때 발생한 가스가 소음기에 의한 배압 때문에 소음기를 통하여 대기로 원활히 방출되지 못하고 폭발함으로써 소음저감 데이터는 확보하지 못하였다. Fig. 5(a)의 사진은 폭발로 인하여 퓨즈통 끝단에 부착된 소음기가 완전 파괴되어 소실될 모습을 보여주고 있다.

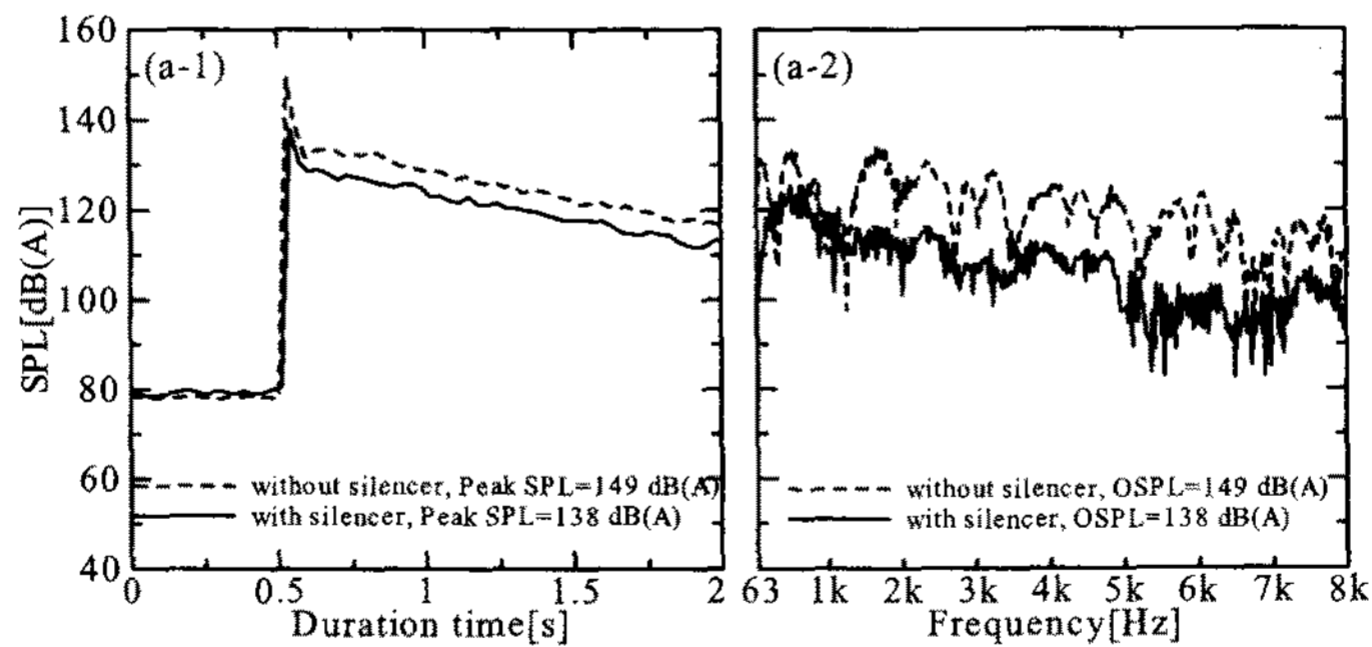
Fig. 5(b)의 전류파형 결과에서는 퓨즈 도선이 용단될 때, 한 주기 이내에서 전류흐름이 차단되지 않고, 잔류전류의 흐름이 약 23 ms 정도 더 지속되는 것을 보여주고 있다. 이것은 퓨즈 도선이 용단될 때 발생하는 퓨즈통 내부의 가스가 소음기를 통하여 대기로 원활히 방출되지 못하고 가스입자를 통하여 23 ms 동안 전류흐름이 더 지속되다가 퓨즈통 끝단에 부착된 소음기가 파괴되고 나서야 잔류전류의 흐름이 차단되었음을 뜻한다.

Fig. 6은 퓨즈통의 원주면에 $\sigma_2=29\%$ 정도의 공극율을 추가로 뚫은 A-2 소음기의 측정결과이다. 이 경우에는 퓨즈 도선이 용단될 때 퓨즈통이나 소음기가 파손되지 않아 소음의 시간파형과 전류파형에 대한 데이터를 모두 확보하였다. 먼저 Fig. 6(a)에 도시된 두 그래프 중에서 좌측의 Fig. 6(a-1) 그래프는 시간파형을 나타내고, 우측의 Fig. 6(a-2) 그래프는 시간파형의 피크점에서 분석

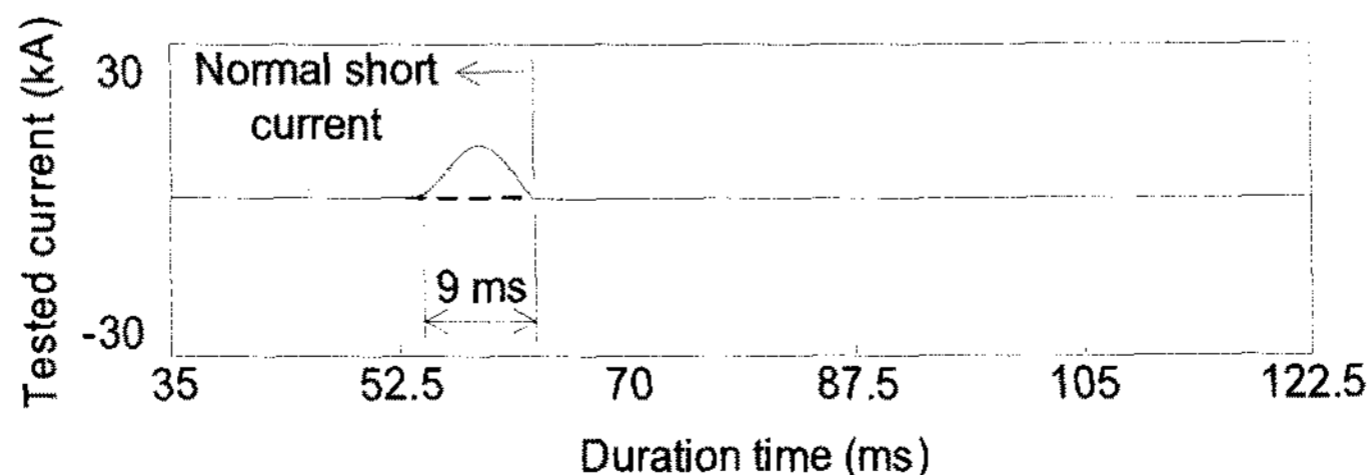
한 주파수별 음압레벨이다. 또 두 그래프에서 실선은 COS 퓨즈통에 소음기를 부착하였을 때이고, 점선은 소음기를 부착하지 않은 경우로서 음원에 해당한다. 그리고 Fig. 6(b)에는 전류파형의 측정결과를 나타내었다.

Fig. 6(a)에 도시된 시간과 주파수별 음압레벨에 대한 결과에서 약 11 dB(A) 정도의 소음저감 효과를 가지며, 그 효과는 주로 1.3 kHz 이상에서의 소음감소 때문임을 알 수 있다. 이와 같이 주로 고주파수 대역의 소음이 저감되는 결과는 디퓨저형 소음기의 소음저감 특성과도 잘 일치하는 결과이다⁽⁷⁾. 또한 Fig. 6(b)에 도시된 전류파형의 결과에서는 공극율 증가에 의한 배압문제의 해소로 인하여 잔류전류의 흐름 없이 반 주기이내에서 정상적으로 전류흐름이 차단된 것을 볼 수 있다. 이상의 결과로 미루어 볼 때, 이 연구의 COS 퓨즈 용량조건에서는 퓨즈통내에 있는 가스의 원활한 배출을 위해서 디퓨저형 소음기의 공극율은 적어도 퓨즈홀더의 단면출구 면적 대비 60% 이상이 되도록 설계되어야 함을 알 수 있었다.

3.2 반사형 소음기의 소음 저감 및 전류차단 특성



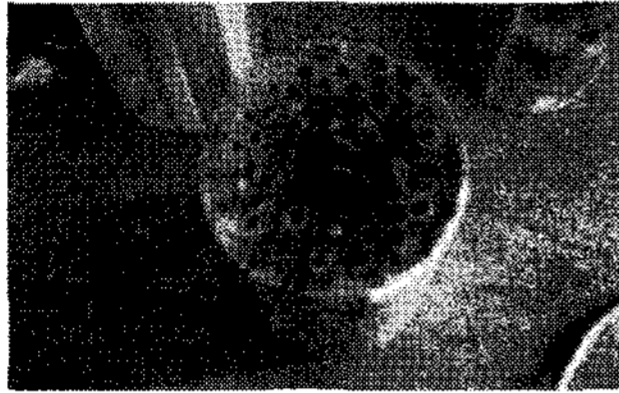
(a) Level difference in the time and frequency domain



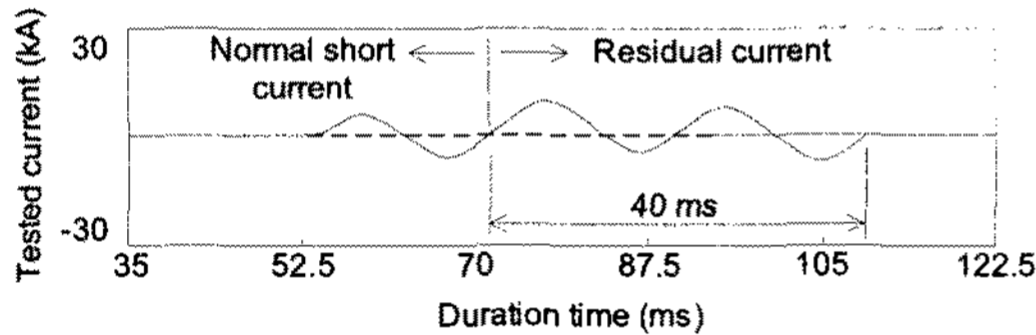
(b) Wave pattern of normal short current

Fig. 6 Level difference in the time and frequency domain of the impulse noise by the attachment of A-2 type silencer and wave pattern of normal short current

Fig. 7은 COS 퓨즈통에 반사형인 B-1 소음기를 부착한 상태에서 퓨즈 도선이 용단될 때의 전류과형을 측정하는 결과이다. 소음기의 소음저감 성능을 함께 측정하려 했으나, 퓨즈 도선이 용단될 때 발생한 가스가 소음기에 의한 배압 때문에 소음기 출구로 원활히 방출되지 못하고 폭발함으로서 소음저감 데이터를 확보하지 못하였다. Fig. 7(a)의 사진은 폭



(a) Damaged part of B-1 type silencer



(b) Wave pattern of residual current

Fig. 7 Photograph on the damaged part of B-1 type silencer and wave pattern of residual current

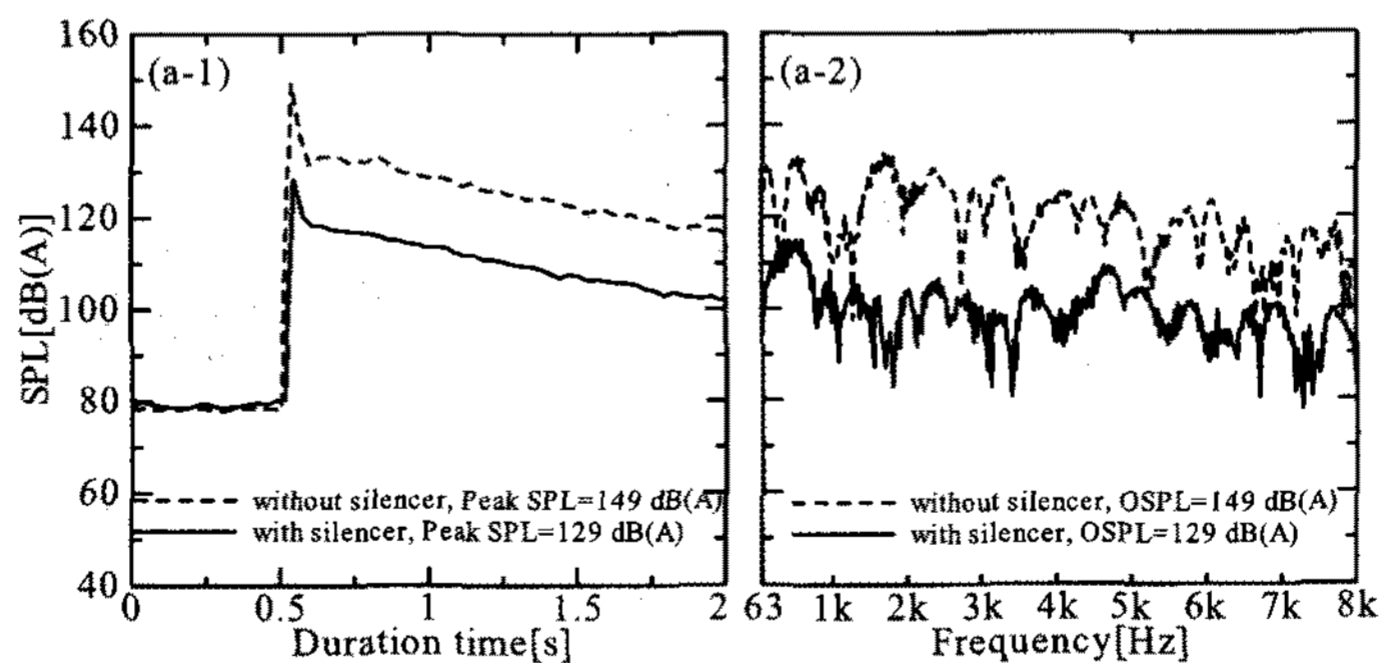
발로 인하여 퓨즈통 끝단에 부착된 소음기의 출구부가 손상된 모습을 보여주고 있다.

Fig. 7(b)의 전류과형 결과에서는 퓨즈 도선이 용단될 때, 한 주기이내에서 전류흐름이 차단되지 않고 잔류전류의 흐름이 약 40ms 정도 더 지속되는 것을 볼 수 있다. 이것 역시 A-1 소음기의 경우와 마찬가지로 퓨즈 도선이 용단될 때 발생하는 퓨즈통 내부의 가스입자가 소음기를 통하여 대기로 원활히 방출되지 못하고 가스입자를 통하여 40ms 동안 전류흐름이 더 지속되다가 퓨즈통 끝단에 부착된 소음기의 출구부가 파손되고 나서야 전류흐름이 차단되었음을 뜻한다.

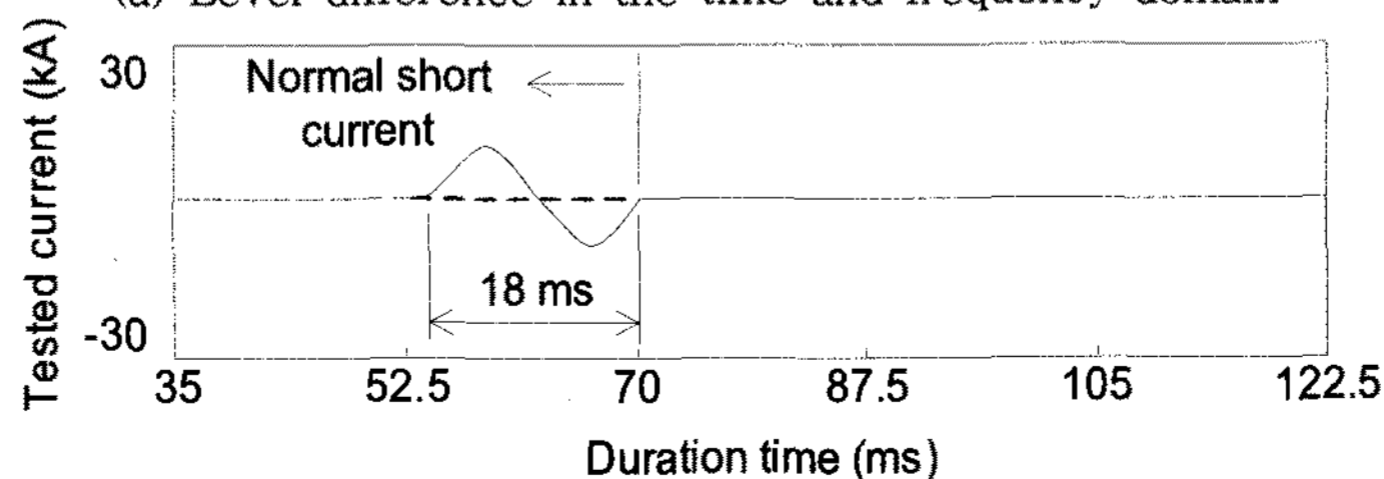
Fig. 8은 B-2 소음기의 측정결과로서 B-1 소음기의 출구부에 설치된 다공 플러그를 제거한 경우이다. 이 경우는 퓨즈 도선이 용단될 때 퓨즈통이나 소음기가 파손되지 않아 소음의 시간과형과 전류과형에 대한 데이터를 모두 확보하였다.

결과에서 보듯이 약 20 dB(A) 정도의 소음저감 효과가 있으며, 전 주파수대역에서 소음이 감소하였다.

특히 Fig. 8(a-2)에 도시된 주파수별 음압레벨 결과에서 소음저감 패턴이 반사형 소음기의 소음저감 패턴과 매우 유사함을 보여주고 있다⁽⁸⁾. 또 Fig. 8(b)에 도시된 전류과형의 결과에서는 소음기 출구에 부



(a) Level difference in the time and frequency domain



(b) Wave pattern of normal short current

Fig. 8 Level difference in the time and frequency domain of the impulse noise by the attachment of B-2 type silencer and wave pattern of normal short current

착된 다공플러그의 제거로 인한 배압문제의 해소로 인하여 한 주기이내에서 정상적으로 전류흐름이 차단된 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

이 연구에서는 COS 퓨즈용 소음기의 설계 제원을 확보하기 위해 선행 연구를 통하여 선정된 디퓨저형 2종과 반사형 2종에 대한 소음기를 제작하여 실제 조건과 똑같은 퓨즈에 장착하고 현장 시험을 수행하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

시험결과로부터 디퓨저형인 A-1 소음기와 반사형인 B-1 소음기는 퓨즈 도선이 용단될 때 발생한 가스가 소음기에 의한 배압 때문에 소음기를 통하여 대기로 원활하게 방출되지 못하고 폭발함으로서 소음저감 데이터를 확보할 수 없었다. 따라서 전류 흐름이 한 주기이내에서 차단되지 못하고, 퓨즈통과 소음기의 내부에서 가스가 지체한 시간만큼 잔류전류의 흐름이 지속되었다.

그러나 디퓨저형인 A-2 소음기와 반사형인 B-2 소음기는 퓨즈 도선이 용단될 때 발생한 가스가 소음기를 통하여 대기로 원활하게 배출됨으로서 전류 흐름이 정상적으로 차단되었다. 디퓨저형인 A-2 소음기는 11 B(A) 정도의 소음저감 효과가 있었으며, 주로 1.3 kHz 이상의 고주파대역에서 소음이 감소하였다. 반사형인 B-2 소음기는 20 dB(A) 정도의 우수한 소음저감 효과가 있었으며, 전주파수 대역에서 소음이 감소하였다. 따라서 이 연구의 COS 퓨즈 용량 조건에 가장 적합한 소음기 형식은 반사형으로서, 그 구성과 세부 제원은 Fig. 4(d)에 도시된 내용과 같다.

참 고 문 헌

(1) Song, H. Y., Ju, K. M., Lee, D. H., Kang, R. G. and Jung, N. H., 2005, "An Experimental Study on the Propagation Characteristics and Reduction of Impulse Noises from a High Voltage COS

Fuse", Proceeding of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 71~74.

(2) Song, H. Y., Kim, D. H., Lee, J. S. and Lee, D. H., 2006, "Reactive Silencer Design for Suppressing Impulse Noises from a High Voltage Cut Out Switch Fuse", Proceeding of the KSNVE Annual Spring Conference.

(3) Song, H. Y., Kim, D. H., Lee, J. S. and Lee, D. H., 2006, "An Experimental Study on the Control of Duration time of Impulse Noise from a High Voltage COS Fuse", Proceeding of the KSNVE Annual Autumn Conference.

(4) Song, H. Y., 2004, "An Experimental Study on the Propagation Characteristics and Reduction of Impulse Noises", Master's Degree Paper in the Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Technology.

(5) KEPCO, 2001, "KEPCO Standard Procurement Specifications - Special High Voltage Cut Out Switch", ES 151-961.

(6) Institute of Electrical and Electricians Engineers (IEEE), "IEEE Standard Design for High-voltage Fuses, Distribution Enclosed Single-pole Air Switches, Fuse Disconnecting Switched, and Accessories", IEEE Std C37.41-1994

(7) Jeong, G. C., Hyun, S. I., Lee, J. W. and Kwon, Y. P., 1994, "Performance of Absorption Diffuser Silencers", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 4, No. 3, pp. 377~384

(8) Lee, D. H., Lee, D. H. and Kwon, Y. P., 1991, "A Study on the Performance of a Perforated Tube Muffler with Air Flow", Proceeding of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 11~15.