

고전압 COS 퓨즈로부터 방사된 충격성 소음 저감용 반사형 소음기의 설계 Reactive Silencer Design for Suppressing Impulse Noise from a High Voltage Cut Out Switch Fuse

송화영[†] · 김덕한* · 이종석* · 이동훈**

Hwa-Young Song, Deok-Han Kim, Jong-Suk Lee, Dong-Hoon Lee

Key Words : COS Fuse(컷아웃 스위치 퓨즈), Duration time(지속시간), Impulse noise(충격성 소음), Insertion loss(삽입손실), Peak sound pressure(피크음압), Reactive silencer(반사형 소음기)

ABSTRACT

This Study introduces the design of a reactive type silencer for reducing impulse noises emitted from a high voltage COS fuse of a transformer. When a high voltage COS fuse becomes a short circuit by the over current, the peak sound pressure level above 150dB(A) is generated at the distance of 2m from a COS Fuse. For the purpose of the reduction of impulse noise, in this study, the reactive type silencers have been utilized. The performance of noise reduction for them can be expressed by insertion loss. The reactive silencers have been tested for 23 different types with each different porosity, hole diameter and depth. From the experimental results, it is found that the reactive silencer has an excellent performance to greatly suppress the impulse noise. The one-stage, two-stage and three-stage reactive type silencers have been shown to have the insertion losses of about from 35dB (A) to 25dB(A).

1. 서론

고전압 COS 퓨즈는 정격전압이 25,000V로서 과전류를 차단하여 변압기를 보호할 목적으로 변압기의 상단에 부착되어 사용하고 있다.⁽¹⁾ 그러나 과부하로 인하여 과전류가 흐르게 되면 COS 퓨즈가 용단되어 이로 인하여 생성된 강력한 아크가 펄스형태의 강한 세기의 충격성 소음을 유발시켜 주변지역 거주자에게 공포감 및 불쾌감을 주게 된다. 특히 COS 퓨즈가 용단될 때 발생하는 충격성 소음의 세기는 음원으로부터 2 m 떨어진 지점에서 151 ~ 152 dB(A) 정도의 매우 큰 피크음압레벨을 나타낸다.⁽²⁾ 이러한 소음은 변압기의 작업자 또는 보행자의 청각기능을 손상시킬 수 있을 뿐만 아니라 변압기나 애자와 같은 주변 구조물을 진동/파괴시키는 주요 요인이 되고 있다.⁽²⁾

충격성 소음은 발생빈도에 따라 단발성 그리고 연발성 소음원으로 나눌 수 있다.⁽³⁾ 단발성 충격성 소음원으로는 체석장과 광산에서의 발파에 의한 폭발음, 대포와 총기류의 발사음, 소닉붐 그리고 본 연구에서 대상으로 삼고 있는 회로차단기와 같은 고전압 COS 퓨즈 등을 들 수 있다. 또한 연발성 충격성 소음원으로는 파일 드라이버 소음, 리벳팅 소음, 기관총 소음 그리고 헬리콥터의 날개 소음 등을 들 수 있다. 이와 같이 충격성 소음은 폭넓은 분야에서 다양한 형태로 발생하므로 소음 저감을 위해서는 소음원별로 소음 발생기구의 규명 및 전파특성 파악 그리고 소음저감 장치에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

특히 고전압 COS 퓨즈로부터 방사된 충격성 소음에 대해서는 저자들에 의하여 발생기구와 전파특성 등이 규명된 바 있다.⁽²⁾ 연구결과에 의하면 COS 퓨즈가 용단될 때의 충격성 소음은 음원으로부터 2m 거리에서 피크음압레벨이 약 152dB(A) 이며, 지속시간(A-duration)은 약 128ms 이었다. 또한, 충격성 소음 발생기로부터 방사된 충격성 소음의 지향특성은 소음기의 장착유무와는 상관없이 모두 관측 방향으로 강한 지향특성을 보였으며, 거리가 2배씩 증가할 때마다 약 6dB(A) 정도씩 피크음압이 감소하는 거리의 역

[†] 서울산업대학교 에너지환경대학원 에너지시스템공학과

E-mail : hysong@snut.ac.kr

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

* 서울산업대학교 산업대학원 기계공학과

** 서울산업대학교 기계공학과

2층 법칙이 성립함을 확인하였다.

따라서 본 연구에서는 고전압 COS 퓨즈로부터 방사된 충격성 소음의 발생기구와 전파특성을 토대로 하여 COS 퓨즈용 소음저감 장치를 설계하고자 한다. COS 퓨즈용 소음저감 장치의 대표적인 형태로는 흡음형 소음기와 반사형 소음기를 고려할 수 있다.⁽⁴⁾ 그러나 흡음형 소음기는 COS 퓨즈가 용단될 때 소음과 함께 강한 제트의 방출로 인하여 내구성 문제가 수반된다. 이 때문에 본 연구에서는 COS 퓨즈와 같이 내구성의 문제가 있는 곳에 널리 쓰이는 반사형 소음기를 선정하여 소음기 제원을 변화시키면서 소음저감 효과를 실험하였다.

2. 실험

2.1 실험 장치

Fig. 1은 고전압 COS 퓨즈 용단 시 발생하는 강한 충격성 소음과 같은 수준의 소음을 발생시키기 위하여 제작한 충격성 소음 발생기이다. 소음 발생 원리는 길이 2240mm, 지름 $\varnothing 67\text{mm}$ 의 관내에 공기와 아세틸렌 가스를 이룬공기량인 약 12:1의 비로 충전한 다음, Power TR Unit을 이용하여 점화시켜 관내에서 가스폭발을 유도하여 소음을 발생시키는 방식이다. 관내에 충전된 혼합가스가 외부로 누설되는 것을 방지하기 위하여 소음발생기의 출구로부터 100 mm 위치에 두께 0.03mm의 셀로판 시트 격막을 설치하였다. 또 소음발생기의 출구에는 시험대상체인 소음기를 부착하였다.

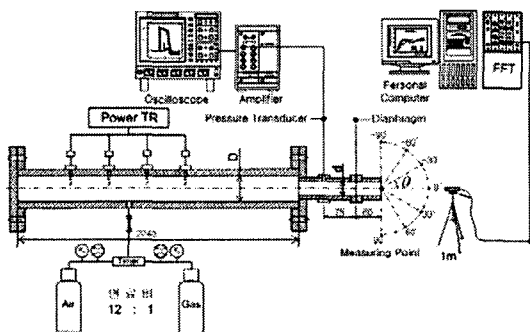


Fig. 1 Schematic diagram of impulse noise generator.

충격성 소음 발생기는 반후방 공간을 만족시키는 건물 옥상에 설치하고, 관 축방향을 기준으로 $\theta = 30^\circ$ 그리고 관 출구 단으로부터 1m 지점에 1/4" 마이크로폰(B&K 4938)을 위치시켜 충격성 소음을 측정하였다.

2.2 시험용 소음기

Fig. 2는 본 연구에서 시험한 1단 반사형 소음기의 개략도와 제원을 나타낸 것으로서, 소음기의 주요 설계인자인 공극율, 구멍지름, 구멍깊이의 변화에 대한 소음저감 효과

를 알아보기 위하여 치수를 각기 다르게 하여 제작하였다.

또한, 목부가 두개 이상인 다단 반사형 소음기의 소음저감 성능을 측정하기 위해서 1단 반사형 소음기가 두개 조합된 2단 반사형 소음기와 3개 조합된 3단 반사형 소음기도 제작하였다.

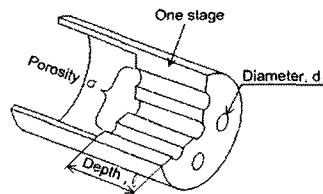


Fig. 2 Schematic diagram of one-stage reactive type silencer.

Table 1 ~ Table 3은 제원을 각기 다르게 하여 제작한 1단, 2단, 3단 반사형 소음기의 각 제원을 나타낸 것으로서 1단 반사형 소음기의 경우 총 10개의 반사형 소음기를 제작하였으며, 2단 반사형 소음기는 6개, 3단 반사형 소음기는 7개의 반사형 소음기를 제작하였다. 시험에 이용된 모든 소음기의 내경은 $\varnothing 12.7\text{ mm}$ 로서 고전압 COS 퓨즈의 지름과 동일하게 제작하였다.

Table 1 Design parameters of one-stage reactive type silencer.

Silencer names	Porosity, σ_1 (%)	Hole diameter, d(mm)	Hole depth, ℓ (mm)	Adjustable parameters
1S - $\sigma_1 3$	3	1.5	10	Porosity
1S - $\sigma_1 5$	5			
1S - $\sigma_1 10$	10			
1S - $\sigma_1 15$	15			
1S - d0.8	5	0.8	10	Diameter
1S - d3		3		
1S - d5		5		
1S - $\ell 5$	5	1.5	5	Depth
1S - $\ell 15$			15	
1S - $\ell 20$			20	

Table 2 Design parameters of two-stage reactive type silencer.

Silencer names	First stage, σ_1 (%)	Second stage, σ_2 (%)	Fixed parameters
2S- $\sigma_1 3$ - $\sigma_2 5$	3	5	d= $\varnothing 1.5$ $\ell = 10$
2S- $\sigma_1 3$ - $\sigma_2 10$	3	10	
2S- $\sigma_1 5$ - $\sigma_2 5$	5	5	
2S- $\sigma_1 5$ - $\sigma_2 10$	5	10	
2S- $\sigma_1 5$ - $\sigma_2 15$	5	15	
2S- $\sigma_1 10$ - $\sigma_2 10$	10	10	

Table 3 Design parameters of three-stage reactive type silencer.

Silencer names	First stage σ_1 (%)	Second stage σ_2 (%)	Third stage σ_3 (%)	Fixed parameters
3S- σ_1 3- σ_2 5- σ_3 5	3	5	5	d=Ø1.5 l = 10
3S- σ_1 3- σ_2 5- σ_3 10	3	5	10	
3S- σ_1 3- σ_2 10- σ_3 10	3	10	10	
3S- σ_1 5- σ_2 5- σ_3 10	5	5	10	
3S- σ_1 5- σ_2 10- σ_3 10	5	10	10	
3S- σ_1 5- σ_2 10- σ_3 15	5	10	15	
3S- σ_1 10- σ_2 10- σ_3 15	10	10	15	

3. 결과 및 고찰

3.1 소음 발생기 및 소음기 소음저감 특성

Fig. 3 ~ Fig. 5에 나타난 결과는 형식이 서로 다른 3 종류의 소음기에 의하여 저감된 충격성 소음의 시간파형과 스펙트럼을 음원과 비교하여 도시하였다.

Fig. 3은 $\sigma = 5\%$, $d = \phi 1.5$, $L = 10$ 인 1단 반사형 소음기로부터 방사된 충격성 소음을 측정된 결과이다. 그림에 도시된 충격성 소음의 시간파형 결과를 음원의 시간파형 결과와 비교해 보면, 약 28 dB(A) 정도의 소음이 저감되었다. 또한, 피크음압레벨에 대한 스펙트럼 분석 결과를 음원의 스펙트럼과 비교해 보면, 모든 주파수 대역에서 소음이 저감되었음을 확인할 수 있었으며, 특히 약 1kHz ~ 2kHz 대역에서의 소음이 크게 저감되었다.

Fig. 4는 $\sigma = 5\%$, $d = \phi 1.5$, $L = 10$ 인 1단 반사형 소음기를 이중으로 조합한 2단 반사형 소음기로부터 방사된 소음을 측정된 결과이다. 그림에 도시된 충격성 소음의 시간파형 결과를 음원의 시간파형과 비교해 보면, 약 11 dB(A) 정도의 소음이 저감되었다. 그러나 지속시간은 2s를 초과하였는데, 이는 1단 반사형 소음기보다 소음기의 유동저항이 커서 폭발후의 배기가스가 대기로 천천히 방출되었기 때문이다. 또한, 스펙트럼 분석 결과는 Fig. 3의 스펙트럼 결과와 마찬가지로 비슷한 주파수 특성을 보였다.

Fig. 5는 공극율이 각각 $\sigma = 5\%$, $\sigma = 5\%$, $\sigma = 10\%$ 인 1단 반사형 소음기 3개가 조합된 3단 반사형 소음기로부터 방사된 소음을 측정된 결과이다. 그림에 도시된 시간파형을 Fig. 4의 시간파형 결과와 비교해 보면, 공극율 $\sigma = 10\%$ 인 2단 반사형 소음기의 추가 조합으로 인하여 약 1 dB(A) 정도가 더 저감되었지만, 2단 반사형 소음기와의 소음 저감 효과 측면에서는 차이가 없다고 볼 수 있다. 지속시간은 Fig. 4의 결과와 마찬가지로 2s를 초과하였다.

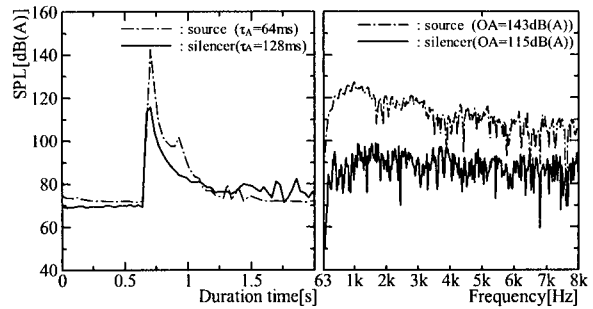


Fig. 3 Time wave and spectra of impulse noise reduced by the one-stage reactive type silencer with type of 1S- $\sigma_1.5$.

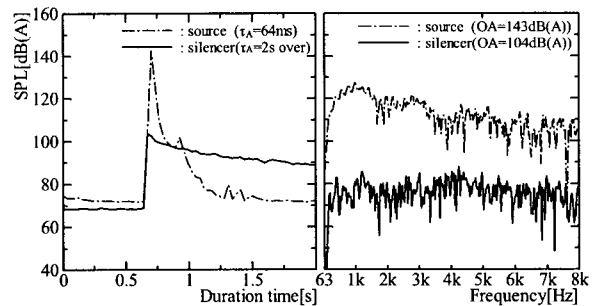


Fig. 4 Time wave and spectra of impulse noise reduced by the two-stage reactive type silencer with type of 2S- $\sigma_1.5$ - $\sigma_2.5$.

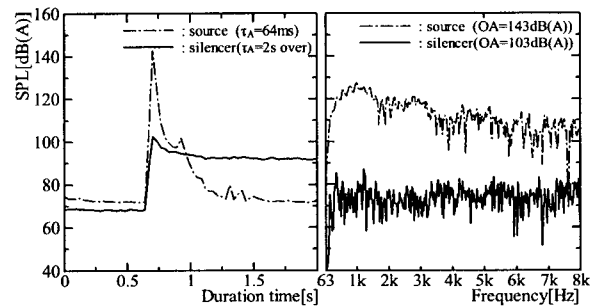


Fig. 5 Time wave and spectra of impulse noise reduced by the three-stage reactive type silencer with type of 3S- $\sigma_1.5$ - $\sigma_2.5$ - $\sigma_3.10$.

3.2 소음기의 삽입손실

Fig. 6은 1단 반사형 소음기의 삽입손실을 도시한 결과이다. 결과에서 공극율과 구멍지름이 작을수록 삽입손실은 증가하지만, 구멍깊이의 변화는 충격성 소음의 저감과는 큰 관련이 없었다. 1단 반사형 소음기 중에서 $\sigma = 5\%$, $d = \phi 0.8$, $L = 10$ 일 때가 소음기의 삽입손실이 약 32 dB(A)로 가장 컸으며, $\sigma = 15\%$, $d = \phi 1.5$, $L = 10$ 일 때가 삽입손실이 약 17 dB(A)로 제일 작은 것으로 확인되었다.

Fig. 7은 2단 반사형 소음기와 3단 반사형 소음기에 대한 삽입손실을 함께 도시한 결과이다. 도시된 결과에서 보듯이 2단 반사형 소음기 결과에서는 $\sigma=5\%$, $d=\phi 1.5$, $L=10$ 인 소음기가 이중으로 조합된 2S- $\sigma_1 5$ - $\sigma_2 5$ 소음기의 삽입손실이 약 39 dB(A)로 가장 효과적이었으며, 2S- $\sigma_1 3$ - $\sigma_2 5$, 2S- $\sigma_1 3$ - $\sigma_2 10$, 2S- $\sigma_1 5$ - $\sigma_2 10$ 인 소음기의 소음저감 성능은 거의 같은 것으로 평가되었다. 또한, 3단 반사형 소음기 결과에서는 3S- $\sigma_1 5$ - $\sigma_2 10$ - $\sigma_3 15$ 인 소음기의 삽입손실이 약 42 dB(A)로 가장 좋았으며, 3S- $\sigma_1 3$ - $\sigma_2 5$ - $\sigma_3 5$, 3S- $\sigma_1 3$ - $\sigma_2 5$ - $\sigma_3 10$, 3S- $\sigma_1 3$ - $\sigma_2 10$ - $\sigma_3 10$, 3S- $\sigma_1 5$ - $\sigma_2 10$ - $\sigma_3 10$, 3S- $\sigma_1 5$ - $\sigma_2 10$ - $\sigma_3 15$ 인 소음기의 소음저감 성능은 거의 비슷한 것으로 평가되었다.

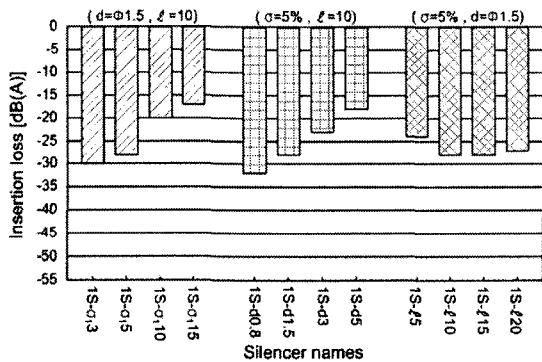


Fig. 6 Variation of the insertion losses of the one-stage reactive type silencers with various design parameters.

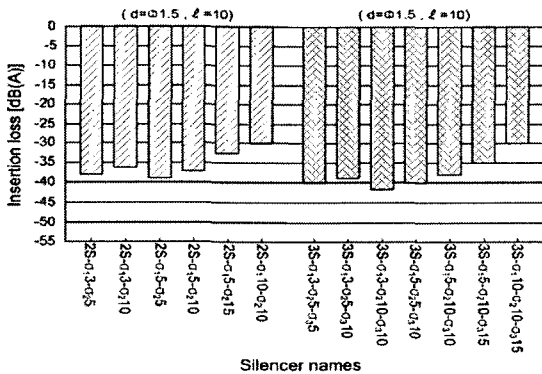


Fig. 7 Variation of the insertion losses of the multiple-stage reactive type silencers with various design parameters.

4. 결론

본 연구로부터 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 반사형 소음기의 주요 설계인자는 공극율과 구멍지름이며, 구멍깊이와는 큰 관련이 없음을 확인하였다.
- 2) 1단 반사형 소음기의 평균 삽입손실은 약 25dB(A) 정도였으며, 2단 및 3단 반사형 소음기는 약 35dB(A) 정도의 소음저감 효과가 있음을 확인하였다. 특히 2단 이상의 반사형 소음기에서 단수변화에 따른 삽입손실의 차이가 나지 않는 결과에 대해서는 소음저감기구 측면에서 향후 이를 규명하기 위한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

참고 문헌

- (1) KEPCO, "한전 표준 구매 시방서-특고압 컷아웃 스위치", ES 151-961, 2001
- (2) 송화영, 주경민, 이동훈, 강내국, 정낙현, 2005, "고전압 COS 퓨즈로부터 방사된 충격성 소음의 전파특성과 저감에 관한 실험적 연구", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp.71-74
- (3) American National Standard (ANSI), 1986, "Methods for Measurement of Impulse Noise", ANSI S12.7.
- (4) Lewis H.Bell, "Industrial Noise Control", MARCER DEKKER, 1982