

충격성 소음 감소용 COS 홀더 개발

조현섭^{1*}

A Development of COS Holder to Reduce an Impact Ambient Noise

Hyun-Seob Cho^{1*}

요 약 변압기 보호와 과전류를 막기 위한 목적으로 COS를 사용하고 있다. 그러나 COS 휴즈는 과전류가 흐르면 과부하에 의하여 용단되면서 강한 아크를 발생하여 공기 절연파괴를 일으킨다. 이러한 현상은 소음을 발생하면서 주변 거주자나 행인들에게 두려움을 준다. 그래서 실제 환경하에서 발생하는 소음을 시급히 정립할 필요가 있다. 본 논문은 COS 휴즈가 용단되면서 발생하는 충격성 소음의 특성을 파악하고 이러한 소음을 줄일 수 있는 방안을 제안한다.

Abstract We are using COS to block the excess current and to protect the transformer. But the fuse of COS is melt due to the overload resulting from the excess current flows and it destroys an air severing relations to clear as strong arc happens. Such phenomenon induces an impact ambient noise and it gives the circumstance area resident or pedestrian the fear. Thus, it is necessary that we urgently need to control the ambient noise from the actual circumstances. In this study, we investigate the characteristic of an impact ambient noise associate with the melting state of the COS fuse and suggest the method to reduce the noise.

Key Words : COS, Arc, Impact Ambient Noise, COS Fuse

1. 서론

현재 변압기에 취부 하여 과전류를 차단하여 변압기를 보호할 목적으로 COS(Cut Out Switch)를 사용하고 있다. 그러나 과부하로 인하여 과전류가 흐르게 되면 COS 휴즈통 안의 휴즈가 용단되면서 강력한 아크가 발생하면서 공기 절연을 파괴하여 펄스형태의 강한 세기의 충격성 소음을 유발시켜 주변지역 거주자나 보행자에게 공포감 및 불쾌감을 주게 된다.

특히 COS 휴즈가 용단될 때 발생하는 충격성 소음의 세기는 음원으로부터 1~2[m] 떨어진 지점에서 약 150[dB(A)] 이상으로서 타이어 펑크음 또는 총기류 발사음(약 148[dB(A)]정도)과 같거나 더 높은 소음수준이므로 변압기의 작업자 또는 보행자의 청각기능을 손상시킬 수 있을 뿐만 아니라 변압기나 애자와 같은 주변 구조물을 진동/파괴시키는 주요 요인이 될 수도 있다. 따라서 이에 대한 적절한 소음 대책 수립이 절실히 요구되고 있지만 실제 소음원의 종류와 소음의 형태도 아직 이론화되

어 있지 않은 실정이다.

충격성 소음은 발생빈도에 따라 단발성과 연발성 소음원으로 나눌 수 있다. 단발성 충격성 소음원으로는 채석장과 광산에서의 발파에 의한 폭발음, 대포와 총기류의 발사음, 소닉붐 그리고 본 연구의 대상인 COS 휴즈 등을 들 수 있다. 또한 연발성 충격성 소음원으로는 파일 드라이버 소음, 리벳팅 소음, 기관총 소음 그리고 헬리콥터의 날개 소음 등을 들 수 있다.

이러한 충격성 소음에 대하여 발표된 연구문헌으로는 주로 인체에 미치는 충격성 소음의 영향, 충격성 소음의 측정방법 또는 평가인자의 도출 등이 있으며, 아울러 고속철도의 터널시스템이나 고압가스 배관계 및 동력엔진의 배기계 등으로부터 방사되는 충격성 소음의 전파특성이나 저감에 관한 연구가 발표된 바 있다.

그러나 이러한 압축가스에 의하여 생성된 충격파에 의한 충격성 소음은 본 연구에서 다루는 COS 휴즈의 전기적 아크에 의한 충격성 소음과는 소음발생기구와 저감대책 관점에서 상당히 다르다. 특히 본 연구의 대상인 COS 휴즈로부터 방사하는 충격성 소음의 경우는 매우 특이한 분야이므로, 이에 대한 전파특성과 소음저감 장치에 대한

¹청운대학교 디지털방송공학과

*교신저자: 조현섭(chohs@chungwoon.ac.kr)

연구문헌은 국내·외적으로 찾아보기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 고전압 COS 퓨즈 용단 시 발생하는 충격성 소음의 특성을 파악하고 이를 저감시키면서 충격성 소음을 세계적 기준 및 현재 사용되고 있는 PF(Power Fuse)의 소음기 성능보다 좀 더 우수한 소음기를 개발하기 위한 기초 실험에 중점을 두었다.

2. 인공적인 충격성 소음 실험장치 개발 및 구성

그림 1은 고전압 COS 퓨즈 용단 시 발생하는 강한 충격성 소음과 같은 수준의 소음을 발생시키기 위하여 제작한 충격성 소음 발생기이다.

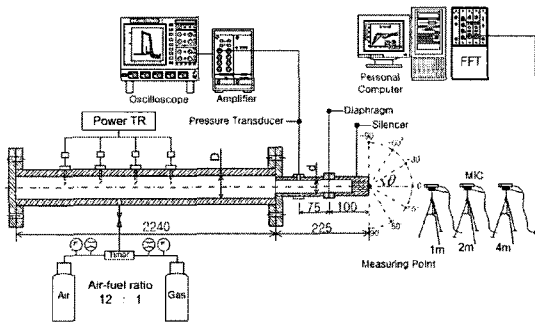


그림 1. 개략도 및 측정 장치 구성도

소음 발생 원리는 길이 2,240[mm], 지름 \varnothing 67[mm]의 관내에 공기와 아세틸렌가스를 약 12 : 1의 비로 혼합하여 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 0.03[mm]의 셀로판 시트 격막을 설치하였다. 또 소음발생기의 출구에는 시험대상체인 소음기를 각 타입 별로 설계하여 부착하였다.

압력센서(PCB pressure transducer, type 111A24)는 소음 발생기 내부에서 혼합가스의 폭발로 인하여 발생한 충격성 소음의 피크압력을 측정하기 위한 것으로 소음발생기의 출구로부터 상류방향 175[mm] 위치에 압력센서를 설치하였다. 압력센서로부터 얻어진 출력신호는 직류 증폭기를 거쳐 증폭된 후 오실로스코프(Lecroy, LT584)에 기록됨과 동시에 컴퓨터에 저장되도록 하였다.

충격성 소음 발생기는 반무향 공간을 만족시키는 건물 옥상에 설치하고, 관측방향을 기준으로 $\theta = 30^\circ$ 방향 그

리고 관출구로부터 1[m], 2[m] 그리고 4[m] 지점에 1/4" 마이크로폰(B&K 4938)을 위치시켜 충격성 소음을 측정하였다. 또 충격성 소음의 지향성은 소음발생기의 관측 방향을 중심으로 하여 시계방향으로 $\theta = 0 \sim 90^\circ$ 그리고 반시계방향으로 $\theta = 0 \sim -90^\circ$ 까지 $\theta = 30^\circ$ 간격으로 음압레벨을 측정하였다. 측정된 음압신호는 증폭기를 거쳐 주파수 증폭기(B&K, FFT Analyzer 3560)에 입력하여 분석하였다.

3. 소음기 형상에 따른 실험 결과

3.1 소음기 없이 COS 용단 시 소음 측정

COS 퓨즈용 소음기를 설계하기 위해서는 먼저 COS 퓨즈가 용단될 때의 소음의 세기와 주파수 특성에 대한 기초적인 정보가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 현재 COS를 생산하는 모든 업체들 중 총 3개사의 COS 퓨즈 상용제품에 대하여 한국전기연구원에서 용단 시 발생하는 소음을 측정하였고, 실험의 개략도는 그림 2와 같다.

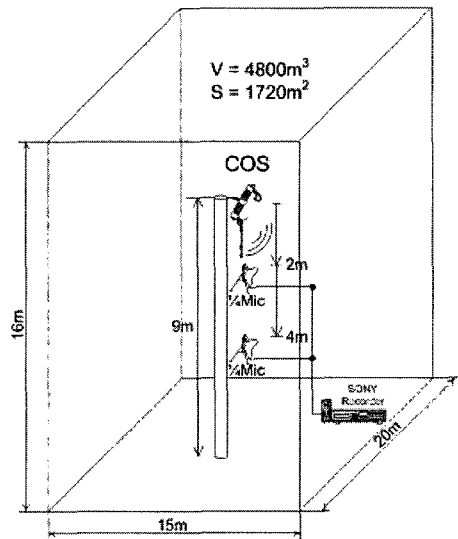


그림 2. 상용 COS 퓨즈 용단 시 발생하는 소음 측정 개략도

표 1은 COS 퓨즈의 용단 시 발생하는 소음을 측정하기 전에 한국전기연구원의 COS 퓨즈 시험동내의 음향조건을 알아보기 위해 잔향시간을 측정하여 실내의 흡음율과 흡음력을 산출한 결과이다. 잔향시간의 측정은 『KS F 2864』에 의거하여 측정하였다. 측정결과를 살펴보면, 한국전기연구원의 COS 퓨즈 실험실내의 평균 잔향시간(T_{60})은 1.14[s]였으며, 이것을 이용하여 실내의 평균 흡

음울 $\bar{\alpha}$ 와 흡음력 A 을 구하면 각각 0.33[s]와 568[m²]으로 평가되었다. 또 실험실 내부의 총 체적과 총 표면적은 각각 4,800[m³] 및 1,720[m²]이므로 이를 이용하여 실정수 R 을 구하면 833[m²]이 되었다. 따라서 실정수가 $R = 833[m^2]$ 이므로 실은 반확산음장 조건임을 확인하였다.

표 1. 전기 시험동내의 잔향시간 및 흡음력(A)

Frequency, [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Avg.
T_{60} [s]	1.2	1.39	1.3	1.24	1.07	0.84	0.59	1.14
$\bar{\alpha}$	0.31	0.28	0.29	0.3	0.34	0.42	0.53	0.33
A	533.2	481.6	498.8	516	584.8	722.4	911.6	567.6

표 2은 COS 휴즈가 용단될 때 퓨즈로부터 직하방향으로 2[m]와 4[m] 떨어진 위치에서 충격성 소음의 피크음압레벨을 측정한 결과이다. COS 휴즈의 소음특성에 대한 보다 정확한 정보를 얻기 위하여 본 연구에서는 3개사의 상용 제품에 대한 차단시험을 하였다. 결과에서 보듯이 퓨즈로부터 2[m]의 이격거리에서는 151 ~ 152[dB(A)] 정도의 매우 큰 피크음압레벨을 나타냈으며, 4[m]의 이격거리에서는 146 ~ 148[dB(A)] 정도의 피크음압레벨을 나타내었다.

표 2. COS 퓨즈로부터 방사된 충격성 소음의 거리별 피크음압레벨

Product names	Peak SPL[dB(A)]	
	2[m]	4[m]
A 사	151	146
B 사	152	148
C 사	152	148

또한 피크음압레벨, 실정수 및 지향계수 $Q = 1$ 을 대입하여 COS 휴즈 용단 시의 음향파워레벨을 구하여 보면 약 168[dB(A)]로 평가되었다. 이러한 결과로부터 그림 3의 그래프에서 실정수가 $R = 833[m^2]$ 인 조건에서 거리 2[m]와 4[m]에서의 피크음압레벨과 음향파워레벨의 차가 각각 약 16[dB]와 20[dB] 정도로서 거리가 2배될 때 4[dB]정도의 거리감쇠를 갖는 반확산음장임을 확인할 수 있었다. 이러한 COS 휴즈의 소음수준은 충격성 소음의 규제기준과 비교해 보면, 약 12[dB(A)] 초과하는 것으로 나타났고, 피크음압레벨에서 주파수 분석한 결과를 보면,

COS 휴즈 용단 시 발생하는 소음성분은 주로 1.7[kHz] 이하의 중·저주파수음이 지배적임을 알 수 있다.

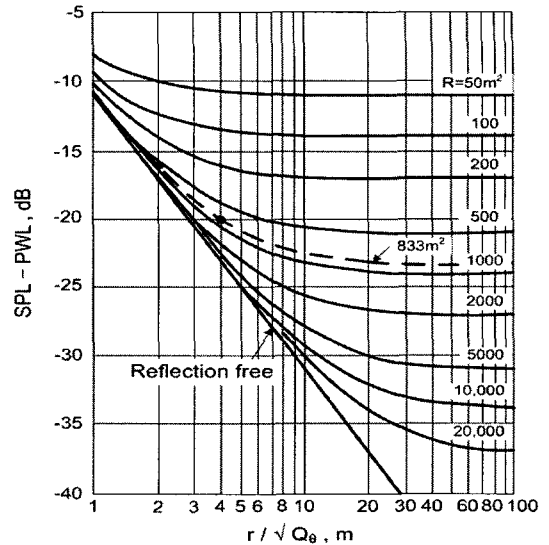


그림 3. 실정수 R에 따른 거리별 음압레벨과 음향 파워레벨의 관계

3.2 각종 소음기 형상에 따른 소음 측정 시험

충격성 소음을 저감시킬 목적으로 설계하여 제작한 반사형 소음기와 다공 공명형 소음기를 공극률, 구멍 지름, 구멍 깊이를 조절하여 설계하였다. 이렇게 설계된 소음기를 소음 발생기 출구에 부착하고 출구로부터 1[m] 떨어진 지점에서 소음을 측정한 결과로서 총 39 종류의 소음기에 대한 시간 파형과 스펙트럼을 비교하였다.

3.2.1 1단 반사형 소음기

1단 반사형 소음기의 개략도는 그림 4에 나타내었고, 주요 설계 인자는 표 3과 같다.

1단 반사형 소음기로부터 방사된 충격성 소음을 측정한 결과로서 소음기를 부착하지 않은 음원의 시간 파형과 주파수 분석 결과를 보면 소음기의 각 변수에 따른 소음 저감량의 차는 있지만, 1S-d0.8의 소음기가 약 32[dB(A)] 정도로 소음저감 효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 또한 모든 1단 반사형 소음기의 피크음압에 대한 스펙트럼 분석 결과를 음원의 스펙트럼과 비교해 보면, 모든 주파수 대역에서 소음이 저감되었음을 확인할 수 있으며, 특히 약 1[kHz] ~ 2[kHz] 대역에서의 소음이 크게 저감되었다.

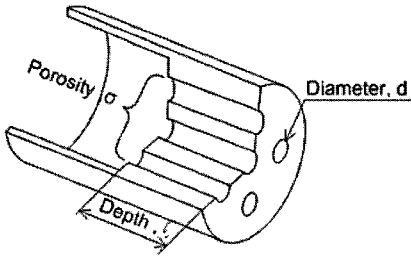


그림 4. 1단 반사형 소음기

표 3. 1단 반사형 소음기 주요 설계 인자

모델명	기공율 σ_1 [%]	구멍크기 d [mm]	구멍깊이 ℓ [mm]	조정 변수	
1S- σ_13	3	1.5	10	기공율	
1S- σ_15	5				
1S- σ_110	10				
1S- σ_115	15	0.8	10	구멍크기	
1S-d0.8	5				3
1S-d3					5
1S-d5		1.5	5	구멍깊이	
1S- ℓ 5	15				
1S- ℓ 15	20				
1S- ℓ 20					

3.2.2 2단 반사형 소음기

1단 반사형 소음기를 이중으로 조합한 2단 반사형 소음기의 개략도는 그림 5에 나타내었고, 주요 설계 인자는 표 4와 같다.

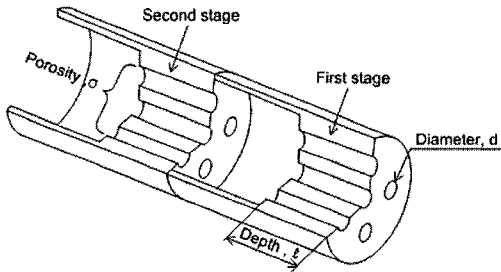


그림 5. 2단 반사형 소음기

표 4. 2단 반사형 소음기 주요 설계 인자

모델명	1단계공율 σ_1 [%]	2단계공율 σ_2 [%]	조정 변수
2S- σ_13 - σ_25	3	5	d = 1.5 ℓ = 10
2S- σ_13 - σ_210		20	
2S- σ_15 - σ_25	5	5	
2S- σ_15 - σ_210		10	
2S- σ_15 - σ_215		15	
2S- σ_110 - σ_210	10	10	

2단 반사형 소음기로부터 방사된 소음을 측정된 결과로서 소음기를 부착하지 않은 음원의 시간 파형과 주파수 분석 결과에서 2S- σ_15 - σ_25 의 소음기가 약 39[dB(A)] 정도로 소음저감 효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 지속 시간은 모든 2단 반사형 소음기에서 2[s]를 초과하였는데, 이는 1단 반사형 소음기보다 소음기의 유동저항이 커서 폭발후의 배기가스가 대기로 천천히 방출되었기 때문이다. 또한, 스펙트럼 분석 결과는 1단 반사형 소음기의 스펙트럼 결과와 마찬가지로 비슷한 주파수 대역 특성을 보였다.

3.2.3 3단 반사형 소음기

1단 반사형 소음기 3개가 조합된 3단 반사형 소음기의 개략도는 그림 6과 같고, 주요 설계 인자는 표 5와 같다.

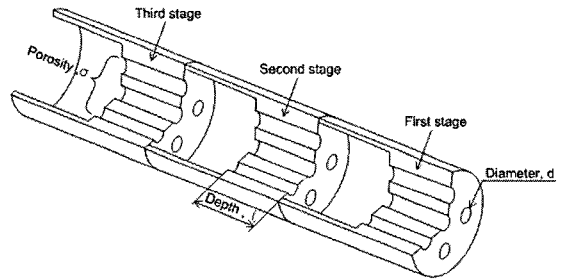


그림 6. 3단 반사형 소음기

표 5. 3단 반사형 소음기 주요 설계 인자

모델명	1단계공율 σ_1 [%]	2단계공율 σ_2 [%]	3단계공율 σ_3 [%]	조정 변수	
3S- σ_13 - σ_25 - σ_35	3	5	5	d = 1.5 ℓ = 10	
3S- σ_13 - σ_25 - σ_310		10	10		
3S- σ_13 - σ_210 - σ_310					
3S- σ_15 - σ_25 - σ_310	5	5	10		
3S- σ_15 - σ_210 - σ_310		10			15
3S- σ_15 - σ_210 - σ_315					
3S- σ_110 - σ_210 - σ_315	10				

3단 반사형 소음기로부터 방사된 소음을 측정된 결과로서 소음기를 부착하지 않은 음원의 시간 파형과 주파수 분석 결과에서 3S-013-0210-0310의 소음기가 약 43[dB(A)]로 3단 반사형 소음기 중에서 가장 소음저감 효과가 큰 것으로 나타났다. 지속시간은 2단 반사형 소음기와 마찬가지로 2[s]를 초과하였다.

3.2.4 외부 다공이 있는 다단 반사형 소음기

외부에 다공이 있는 다단 반사형 소음기의 개략도는 그림 7에 나타내었고, 주요 설계 인자는 표 6과 같다.

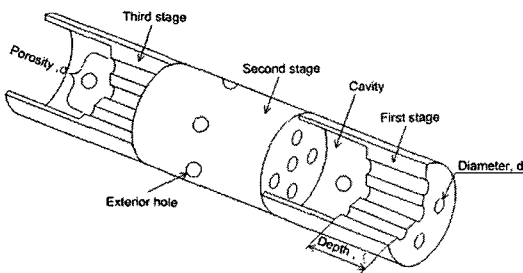


그림 7. 외부 다공이 있는 다단 반사형 소음기

외부에 다공이 있는 다단 반사형 소음기로부터 방사된 소음을 측정된 결과로서 소음기를 부착하지 않은 음원의 시간 파형과 주파수 분석 결과에서 Eh-015-025-0310의 소음기가 약 42[dB(A)] 정도로 소음저감 효과가 가장 큰 것으로 나타났다.

3.2.5 다공 공명형 소음기

다공 공명형 소음기의 개략도는 그림 8에 나타내었고, 주요 설계 인자는 표 7과 같다.

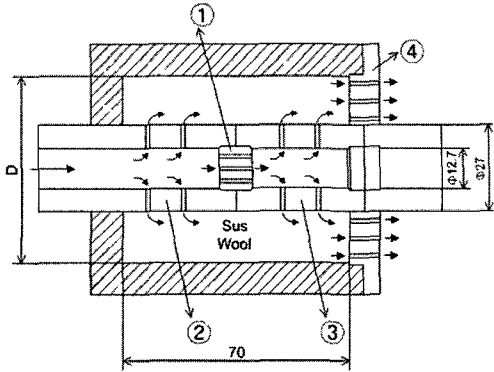


그림 8. 다공 공명형 소음기

다공 공명형 소음기로부터 방사된 소음을 측정된 결과로서 소음기를 부착하지 않은 음원의 시간 파형과 주파수 분석 결과결과에서 D80-03-W의 소음기가 약 53[dB(A)] 정도로 소음저감 효과가 가장 큰 것으로 나타났다.

3.3 지향성 및 거리감쇠 특성

그림 9에서는 소음 발생기의 관 출구로부터 방사된 충격성 소음의 대칭성을 고려하여 실제로 측정된 $\theta = 0 \sim$

표 6. 외부 다공이 있는 다단 반사형 소음기 주요 설계 인자

모델명	1단기공율 σ_1 [%]	2단기공율 σ_2 [%]	3단기공율 σ_3 [%]	고정변수	바깥구멍
Eh-015-025	5	5	-	d=1.5 ℓ=10	5[%] d=1.5
Eh-015-0210		10	-		
Eh-015-025-0310		5	10		
Eh-015-0210-0310		10			

표 7. 다공 공명형 소음기 주요 설계 인자

모델명	D[mm]	고정 변수			조정 변수				
		①	②	③	④	Stainless Wool			
D40-03-W	40	$\sigma = 5\%$ d = 1.5	$\sigma = 10\%$ d = 1.5	$\sigma = 10\%$ d = 1.5	$\sigma = 3$	YES			
D40-05-W					$\sigma = 5$				
D40-03-NW					$\sigma = 3$	NO			
D40-05-NW					$\sigma = 5$				
D60-03-W	60				$\sigma = 5\%$ d = 1.5	$\sigma = 10\%$ d = 1.5	$\sigma = 10\%$ d = 1.5	$\sigma = 3$	YES
D60-05-W								$\sigma = 5$	
D60-03-NW								$\sigma = 3$	NO
D60-05-NW								$\sigma = 5$	
D80-03-W	80	$\sigma = 5\%$ d = 1.5	$\sigma = 10\%$ d = 1.5	$\sigma = 10\%$ d = 1.5				$\sigma = 3$	YES
D80-05-W								$\sigma = 5$	
D80-03-NW								$\sigma = 3$	NO
D80-05-NW								$\sigma = 5$	

90°의 피크음압레벨 값을 $\theta = 0 \sim 90^\circ$ 에 투영시켜서 도시하였다. 그림 9의 결과에서 보듯이 직관으로부터 방사된 충격성 소음은 1[m]와 2[m]에서 관 축방향으로 강한 지향성을 보였지만, 4[m]에서는 30° 방향으로 강한 지향성을 나타내었다.

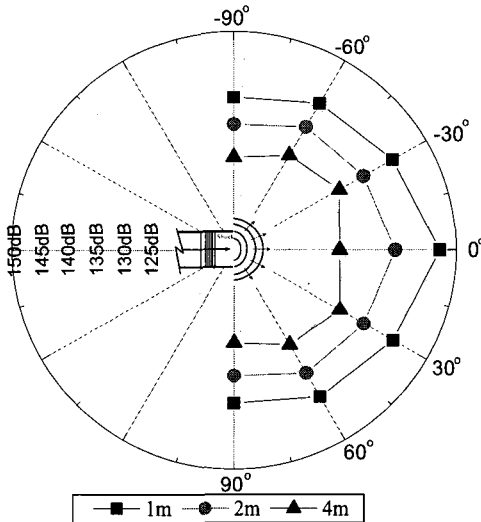


그림 9. 소음 발생기로부터 방사된 충격성 소음의 거리별 지향성 비교

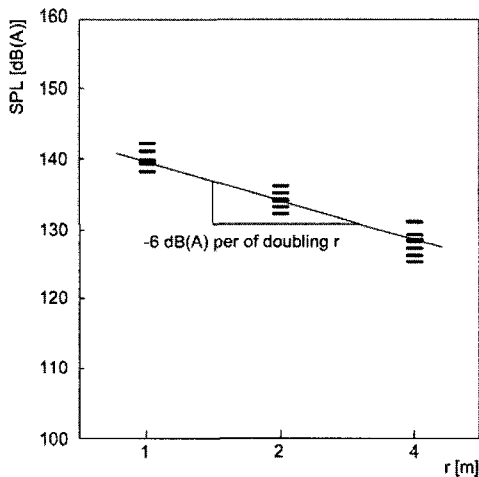


그림 10. 소음 발생기로부터 방사된 충격성 소음의 거리 감쇠 특성

그림 10의 결과는 각각 소음 발생기의 관 출구로부터 방사된 충격성 소음의 거리감쇠 특성을 파악하기 위하여 출구로부터 1[m], 2[m] 그리고 4[m] 떨어진 위치에서 충격성 소음을 측정한 결과이다. 재현성 확인을 위하여 소음 발생기의 출구로부터 방사된 소음의 경우 총 15회에

걸쳐 거리별로 소음을 측정하였으며, 반사형 소음기의 경우 총 5회에 걸쳐 소음을 측정하여 도시하였다. 결과에서 보듯이 각 거리별로 측정한 충격성 소음의 평균 오차 범위는 약 ± 2 [dB(A)] 정도로서, 본 연구를 수행하는데 필요한 재현성은 충분한 것으로 판단되었다. 또한 전파거리별로 충격성 소음의 피크음압을 측정하여 분석한 결과, 거리가 2배씩 증가할 때마다 약 6[dB(A)] 정도씩 피크음압이 감소하는 거리의 역 2승 법칙이 성립하는 것을 확인하였다.

4. 결론

COS 퓨즈 용단 시 발생하는 충격성 소음의 크기와 특성을 측정 분석하고 그리고 이와 유사한 소음특성을 갖는 소음 발생기를 제작하여 반사형 소음기와 다공 공명형 소음기의 소음 저감성능을 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 고전압 COS 퓨즈가 정격전압 25.8[kV] 그리고 차단전류 10[kA]에서 용단될 때 발생하는 충격성 소음은 음원으로부터 2[m] 거리에서 피크음압레벨이 약 152[dB(A)] 정도이고, A-지속시간은 약 128[ms] 정도임을 확인하였다.
- 2) 충격성 소음 발생기를 제작하여 관 출구 단으로부터 1[m] 거리에서 피크음압레벨이 약 143[dB(A)] 정도인 충격성 소음원을 확보하였다. 또 소음발생기로부터 방사된 충격성 소음의 피크음압과 주파수 특성은 재현성을 보였으며, 평균오차 범위는 ± 2 [dB(A)] 정도였다.
- 3) 다공 공명형 소음기는 약 40[dB(A)]를 초과하는 삽입손실을 가지며, 공동에 흡음재를 충전함으로써 소음기의 소음저감 효과는 약 5[dB(A)] 정도 더 향상되었다.

참고문헌

- [1] American National Standard (ANSI), "Methods for Measurement of Impulse Noise", ANSI S12.7, 1986
- [2] U.S. Environmental Protection Agency(EPA), "Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health and Welfare with an Adequate Margin of Safety", 550/9-74-004, 1974
- [3] Harold.W. Lord, William.S. Gately, Harold.A. Evensen, Noise Control For Engineers, McGraw-Hill Book

Company, pp 73-74, 1980

- [4] International Organization for Standardization(ISO),
“Impulse Sound Propagation for Environmental Noise
Assessment”, ISO/TS 13474, 2003

조 현 섭(Hyun-Seob Cho)

[중신회원]



- 1965년 3월 15일생.
- 1990.2 원광대학교 공과대학 전
기공학과 졸업
- 1992.2 원광대학교 공과대학 전
기공학과(석사)
- 1996.2 원광대학교 공과대학 전
기공학과(박사)

- 1996.1~1997.6 Department of Electrical and Computer
Engineering, University of California Irvine(UCI) 연구
원
- 1998.1~현재 한국전력기술인협회 고급감리원(전력감리
원)
- 1998.10~현재 중소기업청 기술경쟁력 평가위원
- 1997.3~현재 청운대학교 부교수

<관심분야>

전기공학, 공장자동화, 응용전자