

< 논 문 >

원통형 음향 홀로그래피를 이용하여 구성한 유도전동기의 방사 음장

Constructed Sound Field of an Induction Motor Using Cylindrical Acoustic Holography

김 시 문* · 김 양 한**

Sea-Moon Kim and Yang-Hann Kim

(1997년 3월 28일 접수 ; 1997년 5월 31일 심사완료)

Key Words : Cylindrical Acoustic Holography(원통형 음향 홀로그래피), Induction Motor(유도전동기), Minimum Error Window(MEW: 최소 오차 창문 함수), Sound Pressure Level(음압 레벨), Sound Power Level(음향 파워 레벨)

ABSTRACT

Induction motors are used in many areas to transform electrical energy to mechanical energy. In the design of an induction motor, not only energy efficiency but also noise becomes an important factor. To effectively address the noise problem, it will be convenient if one can see where and how noise is generated and propagated. In this study sound radiation by an induction motor is visualized using cylindrical acoustic holography. To minimize the bias error by window effect Minimum Error Window(MEW) is used. Its performance is verified by numerical simulations. Based on these theoretical understanding, sound pressure measurement with an induction motor are performed. Not only sound radiation are visualized but sound pressure level and sound power level are also estimated. Results show that the main source is located at nearly bottom part of the motor and the total sound pressure level is 49dB, which satisfies the guideline value suggested by the KS C 4202.

기 호 설 명

$H_m^{(1)}$: 제 1종 m 차 원통형 한켈 함수 (cylindrical Hankel function)
k_r	: 길이 방향(z)축에 수직한 방향의 파수
k_z	: 길이 방향(z)의 파수
L_p	: 음압 레벨
L_w	: 음향 파워 레벨
m	: 원주 방향(ϕ) 모드(mode)

$P(r, \phi, z)$: 원통형 좌표계 (r, ϕ, z) 위치에서의 음압
$\hat{P}_m(k_z)$: m 과 k_z 를 갖는 음압의 파수 성분
Q_ϕ	: 방향 지수(direction factor)
(r, ϕ, z)	: 원통형 좌표계
r_H	: 홀로그램면(측정면)의 반지름
R	: 실내 상수(room constant)
S	: 음압 측정면
$\vec{V}(r, \phi, z)$: 원통형 좌표계 (r, ϕ, z) 위치에서의 입자 속도
W	: 음향 파워
ρ	: 매질의 밀도
ω	: 각주파수

* 한국과학기술원 기계공학과 대학원

** 정희원, 한국과학기술원 기계공학과

1. 서 론

유도전동기는 전기적 에너지를 기계적 에너지로 변환하는 장치로서 여러 분야에서 동력 발생원으로 유용하게 사용되고 있다. 유도전동기를 사용할 때 비용 절감을 위해서는 설계시에 에너지 효율 측면을 고려하는 것도 중요하다 할 수 있으나 보다 쾌적한 작업 환경을 요구하는 추세에 비추어 본다면 운행중에 발생하는 소음을 감소시키는 문제도 함께 생각해 주어야 하겠다. 방사 소음을 감소시키는 방법은 주요 원인이 되는 소음원을 제거하는 방법, 소음원으로부터 방사되는 경로를 차단하는 방법 등이 있겠으나 두 가지 방법 모두 소음원의 위치 및 특성을 파악하는 일이 선행되어야 한다. 소음원의 특성을 파악하는 방법으로 음향 인텐시티 탐촉자(intensity probe)를 이용하는 인텐시티 방법(intensity method)⁽¹⁾, 마이크로폰 선형 어레이(array)를 이용하는 음원 탐지법(source identification)⁽²⁾, 음향 홀로그래피 방법(acoustic holography)⁽³⁾ 등을 들 수 있다⁽⁴⁾. 인텐시티 방법은 음원을 둘러싸는 면에서의 인텐시티를 측정하는 방법으로 소음원의 음향 파워를 직접 계산할 수 있다는 장점은 있으나 측정면에서만 인텐시티 정보를 보유하고 있기 때문에 소음원의 위치를 추정할 뿐 다른 음장 특성은 파악할 수 없는 문제점이 있다. 음원 탐지법은 음원 형태의 평면과 혹은 구면과 가정으로부터 음원의 위치 및 세기를 예측하는 방법으로 인텐시티 방법이나 홀로그래피 방법에 비해 적은 개수의 측정점만이 필요하다는 이점이 있으나 음원의 형태가 복잡해서 가정에 위배되는 경우 잘못된 예측을 할 수가 있으며 방사되는 음장 특성을 알 수가 없다는 단점이 있다. 그러나 음향 홀로그래피 방법은 한 면에서의 음압 측정으로부터 방사되는 음장의 모든 정보, 이를테면 음압, 입자 속도, 음향 인텐시티 등을 예측할 수 있는 장점을 가지고 있다. 음향 홀로그래피 방법은 사용하는 좌표계에 따라서 평면 음향 홀로그래피(plane acoustic holography), 원통형 음향 홀로그래피(cylindrical acoustic holography), 구형 음향 홀로그래피(spherical acoustic holography)로 나뉘어지는데 측정하고자 하는 구조물의 형태나 예상되는 음원의 분포에 따라 적합한 방법을 사용하게 된다. 본 연구에서는 유도전동기의 방사 음장 예측 방법으로 소음원의 형상과 유사한 형태인 원통형 음향 홀로그래피 방법을 이용하였으며 음압, 입자 속도, 인텐시티 등의 예측으로부터 소음원의 특성을 파악하였다. 음장 예측시 창문 함수 영향(window effect)에 의

해 나타나는 오차를 줄이기 위해 최소 오차 창문 함수(Minimum Error Window: MEW)를 이용하였다.

2. 원통형 음향 홀로그래피를 이용한 음장 예측

2.1 기본 이론⁽⁵⁾

측정하고자 하는 음원을 제외한 나머지 영역에서 음원은 존재하지 않는 경우음압은 동차 헬름홀츠 방정식(homogeneous Helmholtz equation)과 좀머펠트 방사 조건(Sommerfeld radiation condition)을 만족한다. 이때 음원을 둘러싸는 원통면에서 음압을 측정하여 음장 예측을 하는 원통형 음향 홀로그래피 방법은 키르히호프 헬름홀츠 적분식(Kirchoff-Helmholtz integral equation)과 Dirichlet 경계 조건을 만족하는 그린 함수(Green function)를 이용하여

$$P(r, \phi, z) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \widehat{P}_m(k_z) e^{im\phi} \times e^{ik_z z} H_m^{(1)}(k_r r) dk_z \quad (1)$$

와 같이 원통형 좌표계(cylindrical coordinate)를 기본 좌표계로 설정하여 표현할 수 있다. 여기서

$H_m^{(1)}(k_r r)$ 은 제1종 m 차 원통형 한켈 함수(cylindrical Hankel function of 1st kind)를 의미하며 k_r 은

$$k_r = \begin{cases} \sqrt{k^2 - k_z^2} & (k^2 > k_z^2) \\ i\sqrt{k_z^2 - k^2} & (k^2 < k_z^2) \end{cases} \quad (2)$$

이다. 각 파수 성분의 크기를 나타내는 $\widehat{P}_m(k_z)$ 는 측정면(홀로그램면, $r=r_H$)에서 얻은 음압분포를 식 (1)에 대입한 후 푸리에 변환(Fourier transform)과 삼각함수의 직교 특성을 이용하여

$$\widehat{P}_m(k_z) = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_0^{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} P(r_H, \phi, z) e^{-im\phi} \times e^{-ik_z z} \{H_m^{(1)}(k_r r_H)\}^{-1} dz d\phi \quad (3)$$

와 같이 구할 수 있다. 이를 다시 식 (1)에 대입함으로써 임의의 공간상에서 음장 예측이 가능하다. 입자 속도 $\vec{V}(r, \phi, z)$ 는

$$\vec{V}(r, \phi, z) = \frac{1}{i\omega\rho} \nabla P(r, \phi, z) \quad (4)$$

와 같이 $P(r, \phi, z)$ 와의 관계를 나타내는 오일러 방정식(Euler equation)으로부터 유도할 수 있으며 이로부터 다른 음장 변수(인텐시티, 파워) 등도 구할 수 있다.

2.2 예측 오차⁽⁵⁾ 및 최소 오차 창문 함수⁽⁶⁾

만약 홀로그램면 전 영역(원통형 음향 홀로그래피의 경우 무한한 길이를 가진 원통면)에 걸쳐서 음압 분포를 측정할 수만 있다면 앞에서 유도된 식들에 의해서 정확한 음장 분포를 얻을 수 있다. 그러나 실제 적용에 있어서 유한한 영역에서 측정하는 것이 불가피하며, 따라서 정확한 측정을 하였다고 하더라도 예측값에 오차를 포함하게 되는 창문 함수 영향이 발생한다⁽⁵⁾.

이러한 창문 함수의 영향은 신호 처리의 관점에서 많은 연구가 계속되어져 왔으며, 이를 줄이기 위하여 여러 창문 함수의 사용이 소개되어져 왔다⁽⁵⁾. 그리고, 신호의 특성 및 사용하는 목적에 적합한 창문 함수를 이용함으로써 개선된 스펙트럼(spectrum)을 얻을 수 있음은 주지의 사실이다.

음향 홀로그래피 방법에서도 창문 함수의 적용을 시도함으로써 개선된 예측음장을 제공하려는 노력들이 계속되어졌다^(5,6). 종래의 방법들은 주로, Hanning, Tukey 창문 함수 등과 같이 지금까지 알려진 함수들을 주로 사용하였으나 최근에 창문 함수에 의해 발생하는 바이어스 오차(bias error)-예측 스펙트럼과 참 스펙트럼의 차이-를 최소화하는 최소 오차 창문 함수가 소개되어 평면 음향 홀로그래피에 적용되었다⁽⁶⁾. 원통형 음향 홀로그래피의 경우에도 측정 방향의 특성-무한 영역 내에서의 한정된 측정-이 평면 음향 홀로그래피의 측정면의 좌표축 특성과 동일하므로 최소 오차 창문 함수를 적용할 수 있을 것이다. 다음은 이러한 가능성을 확인하기 위한 모의 실험을 기술하고 있다.

2.3 점음원 모의 실험

음장 예측시 나타나는 오차는 음원의 특성 예를

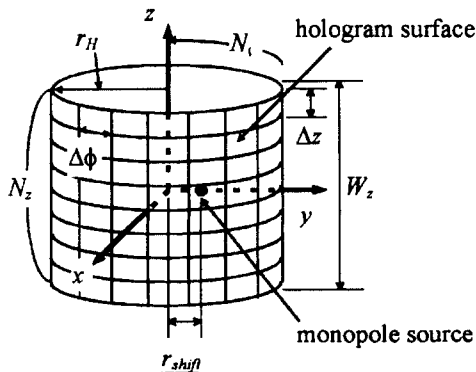


Fig. 1 Parameters in cylindrical acoustic holography

들면 그 크기 및 분포 형상에 따라 다르게 나타난다. 그러나 모든 음원이 점음원의 조합으로 표현할 수 있다는 점을 고려한다면 점음원에 의한 오차 해석으로부터 일반적인 음원일 경우에 예측 결과에 대한 오차의 기준을 제시할 수 있을 것이다. 이러한 취지에서 점음원인 단극(monopole)과 쌍극(dipole)을 이용한 모의 실험을 수행은 그 의미가 있다.

Fig. 1은 원통형 홀로그래피의 적용시 나타나는 변수들을 나타내고 있으며 Table 1은 모의 실험에 사용된 변수값을 나타내고 있다. 파장은 1로하여 모든 길이에 대한 변수를 파장으로 정규화시킨 것과 같은 효과가 나타나게 하였다. 음원은 창문 함수에 의한 영향만을 고려하기 위하여 축대칭 음장이 될 수 있도록 측정면 내부의 중심에 두었다.

Fig. 2는 창문의 크기와 측정점 갯수를 변화시켜 가면서 계산한 후방 예측(backward prediction) 오차⁽⁵⁾의 분포를 나타낸다. 오차를 계산하는 예측면의 범위를 파장의 3배로 하였기 때문에 측정 구경(aperture)의 크기가 이보다 크면 오차가 급격히 줄어드는 현상을 볼 수 있다. 이는 구하고자하는 음장의 영역보다는 큰 범위에서 측정을 해야함을 의미한다. 또한 엘리어싱(aliasing) 효과를 없애려면 한 파장 안에 2개 이상의 측정점을 두어야 하나 단

Table 1 Values of parameters used in numerical simulation

변수명	기호	변수값
파장	λ	1.0
파수	k	2π
길이 방향(z)의 측정점 갯수	N_z	$3 \leq N_z \leq 49,$ $\Delta N_z = 2$
길이 방향(z)의 측정구경 크기	W_z	$2.0 \lambda \leq W_z \leq 10.0 \lambda,$ $\Delta W_z = 0.04 \lambda$
원주 방향(ϕ)의 모우드	m	10
원주 방향(ϕ)의 측정점 갯수	N_ϕ	40
점음원과 중심과의 거리	r_{shift}	0
최대 파수	$(k_z)_{max}$	$\pi / \Delta z$
파수선의 갯수	N_k	100
홀로그램면의 반지름	r_H	0.3λ
예측면의 반지름	r	0.2λ
길이 방향(z)의 예측 영역	z	$-1.5 \lambda \leq z \leq 1.5 \lambda,$ $\Delta z = 0.05 \lambda$
원주 방향(ϕ)의 예측 영역	ϕ	$0 \leq \phi \leq 2\pi,$ $\Delta \phi = \pi / 10$

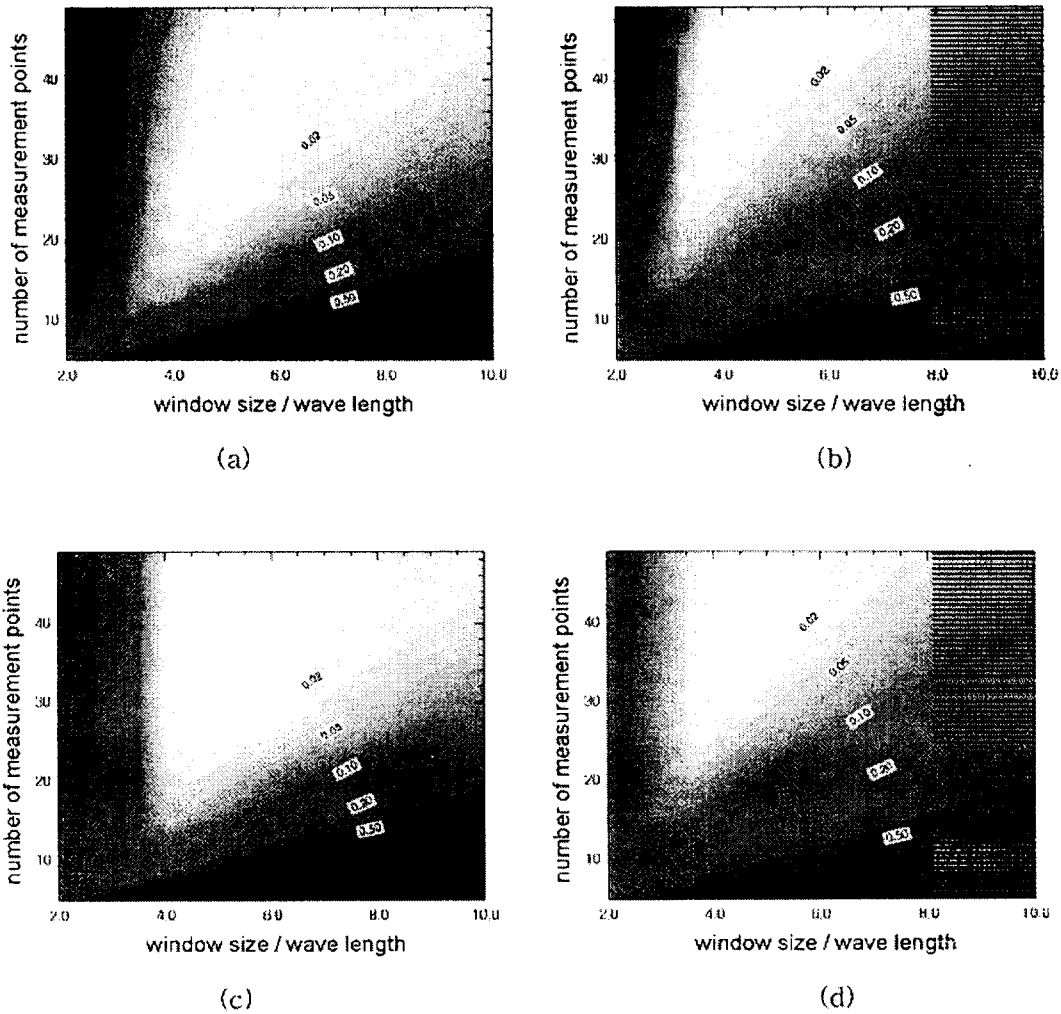


Fig. 2 Contour plot of backward prediction errors (a) monopole, rectangular window (b) dipole, rectangular window (c) monopole, Minimum Error Window(MEW) (d) dipole, Minimum Error Window(MEW)

극의 홀로그래프면에서의 파수 성분을 고려한다면 4 개 이상의 측정점을 취해야 오차가 5% 이내의 수준이 됨을 알 수 있으며 쌍극의 경우는 한 파장 내에 6개 이상의 측정점을 가져야 함을 보여주고 있다. 이는 쌍극 음원이 존재하는 경우가 단극 음원이 존재하는 경우에 비해서 홀로그래프면에서의 음압 분포가 더 복잡한 형태를 지니고 있기 때문에 엘리 어싱 효과가 더 크게 나타나며 그만큼 더 많은 측정점 개수가 필요한 것으로 해석할 수 있다. 일반적으로 한 파장 내에 6개 이상의 측정점 개수를 가지 면 적은 오차의 음장 예측이 가능하다. 측정면의 구 경이 예측면의 구경에 비해서 아주 큰 경우 사각 창 문 함수와 최소 오차 창문 함수를 적용한 결과 사이에 차이가 없음을 확인할 수 있다. 이는 넓은 영역

에서 측정을 함으로 인해 창문 함수 영향이 적게 나 타나기 때문이다. 그러나 크기가 비슷한 경우에는 최소 오차 창문 함수를 적용했을 경우에 오차가 감소하는 것을 관찰할 수 있다.

예측 오차의 계산만으로도 창문 함수의 영향을 살 펴 볼 수가 있으나 적용시 나타나는 음압 분포 예측 결과를 실제값과 비교함으로써 창문 함수의 신뢰성 을 판단하는 기준을 확고히 할 수 있겠다. 이러한 연유에서 원통형 음향 홀로그래피 방법에 적합하도 록 측방향으로 분포된 3개의 단극 음원을 사용하여 음압 예측 모의 실험을 수행하였다. Fig. 3에서 보 는 바와 같이 0.3 λ 의 반지름을 갖는 원통면에서 12x15개 측정점의 음압을 홀로그래프로 이용하였 으며 사각 창문 함수, Tukey 창문 함수, 최소 오차

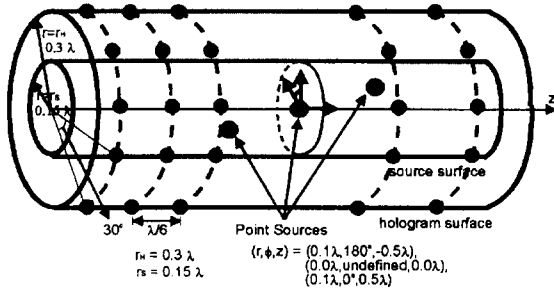
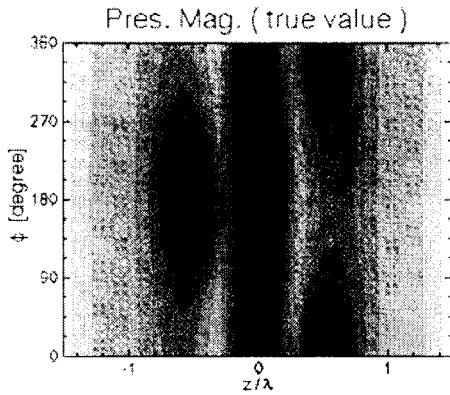


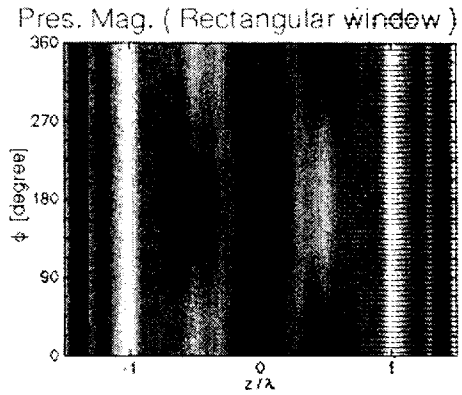
Fig. 3 Simulation configurations

창문 함수를 각각 적용하여 0.15λ 의 반지름을 갖는 원통면 위의 음압을 예측하고 그 결과를 참값과 비교하여 보았다. Fig. 4는 예측면의 음압분포를 보여주고 있는데, 최소오차 창문 함수를 사용한 음장 예측 결과가 사각 창문 함수나 Tukey 창문 함수에 비해 참값에 비슷함을 관찰할 수 있다.

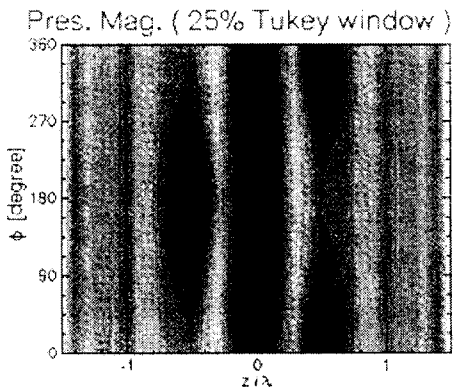
앞의 두 가지 모의 실험을 통하여 최소 오차 창문 함수가 원통형 음향 홀로그래피 방법을 적용함에 있어서 다른 창문 함수에 비해서 오차가 적음을 확인하였다. 그리고, 최소 오차 창문 함수를 이용한



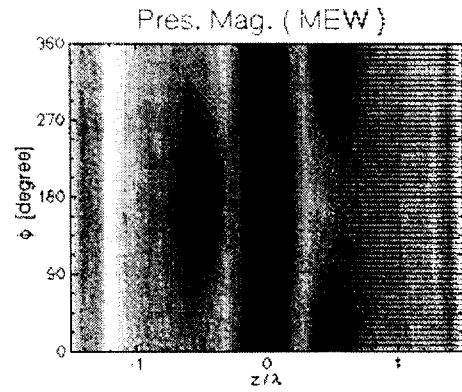
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4 Pressure distribution on prediction plane (a) true value (b) rectangular window (c) 25% Tukey window (d) MEW

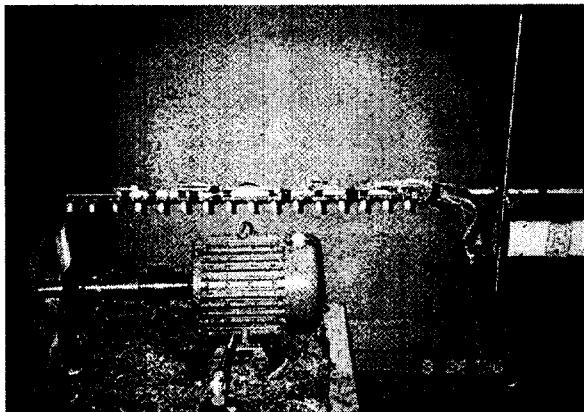
원통형 음향 홀로그래피 방법을 통하여 유도전동기의 방사음장을 실험적으로 구하는 데에 있어서 예측음장을 개선함으로써 예측음장의 신뢰성을 높이리라 기대할 수 있다.

다음은 이러한 결과를 유도전동기의 방사 소음 예측에의 적용예를 보여주고 있다.

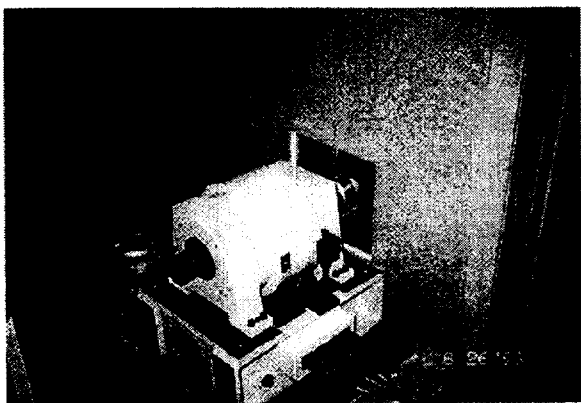
3. 유도전동기의 방사 소음 예측

유도전동기에서 발생하는 소음의 주 원인으로는 팬(fan)에 의한 공기 역학적 소음, 전동축이나 회전자에 의한 기계적 소음, 회전자와 전원 주파수에 관계하는 전자기적 소음 등으로 나눌 수 있다. 실제로 유도전동기에서 방사되는 음장을 원통형 음향 홀로그래피를 적용하여 주된 소음원 및 그 방사 형태를 예측하여 보았다.

3.1 실험 장치 및 방법

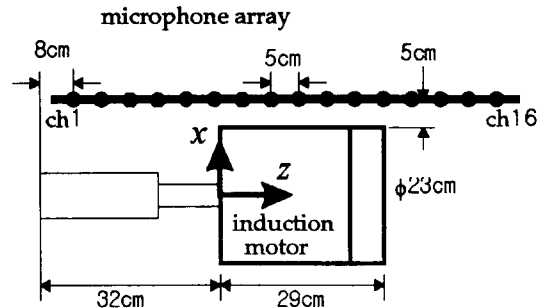


(a)

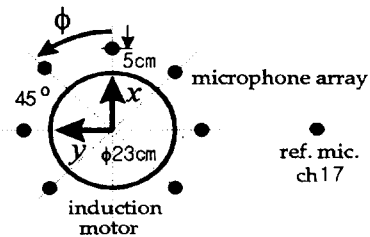


(b)

Fig. 5 Photographs of (a) Induction motor
(b) Dynamometer

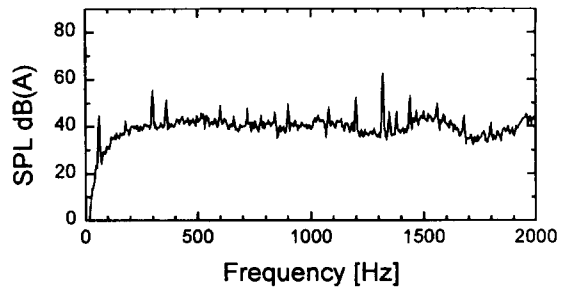


(a)

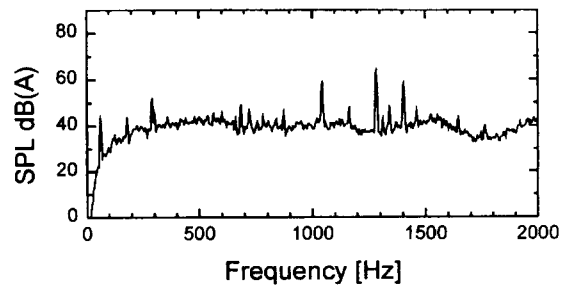


(b)

Fig. 6 Experimental setup (a) Side view
(b) Front view



(a)



(b)

Fig. 7 Power spectrum of reference microphone signals (a) without loading condition
(b) with loading condition

유도전동기를 동력계(dynamometer)에 연결하여 부하의 유무에 따른 방사 음장을 전술한 음향 홀로그래피 방법을 이용하여 예측하였다. 실험에 사용된 유도전동기의 사양은 4극 3상 5마력(3.75kW)이며 슬롯수는 40개였다. 실험은 무향실 내에서 수행하여 반사파가 없도록 하였으며 유도전동기를 고정시키고 있는 베드(bed)의 영향을 줄이

고자 상단을 흡음재로 감싸주었다(Fig. 5).

음압 신호는 16개의 이동 마이크로폰(PCB 130A)과 1개의 기준 마이크로폰(B&K 4134)으로 다채널 신호분석기(HP 3566A)를 통하여 받았다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 축 방향으로 5cm간격으로 16개, 원주 방향으로 45도 간격으로 7개의 측정

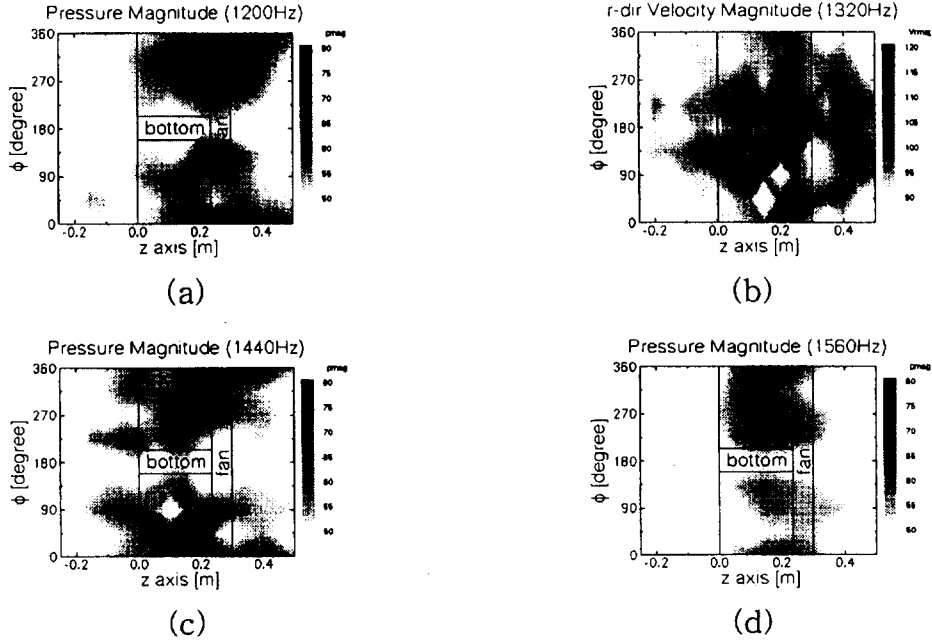


Fig. 8 Measured pressure distribution on hologram plane : without load condition
(a) 1200Hz (b) 1320Hz (c) 1440Hz (d) 1560Hz

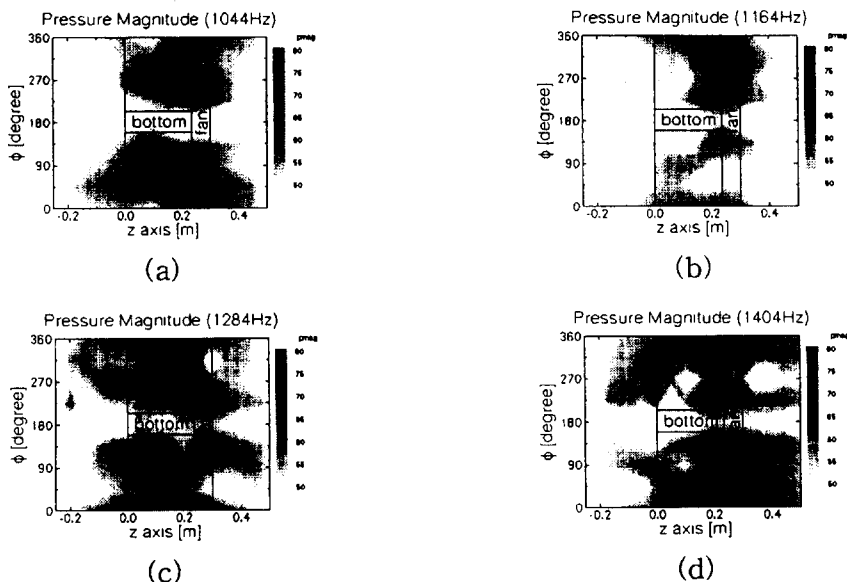


Fig. 9 Measured pressure distribution on hologram plane : with load condition
(a) 1044Hz (b) 1164Hz (c) 1284Hz (d) 1404Hz

점을 두었으며 유도전동기의 표면에서 5cm 떨어진 위치에서 측정하였다. 실험 및 결과에 사용되어진 좌표는 Fig. 6에 나타난 바와 같다.

3.2 실험 결과 및 고찰

Fig. 7은 기준 마이크로폰에 수신된 음압의 파워 스펙트럼을 나타내고 있다. 소음의 원인이 되는 주

파수는 무부하시에 1200Hz, 1320Hz, 1440Hz, 1560Hz이며 부하시(정격부하)에는 1044Hz, 1164Hz, 1284Hz, 1404Hz로서 120Hz간격으로 피크(peak)가 나타남을 알 수 있다. 이는 유도전동기의 전자기적 소음에 의한 것으로 이보다 낮은 주파수 성분을 갖는 웬 소음이나 기계적 소음보다 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며 이 성분에 대한 음장 예측

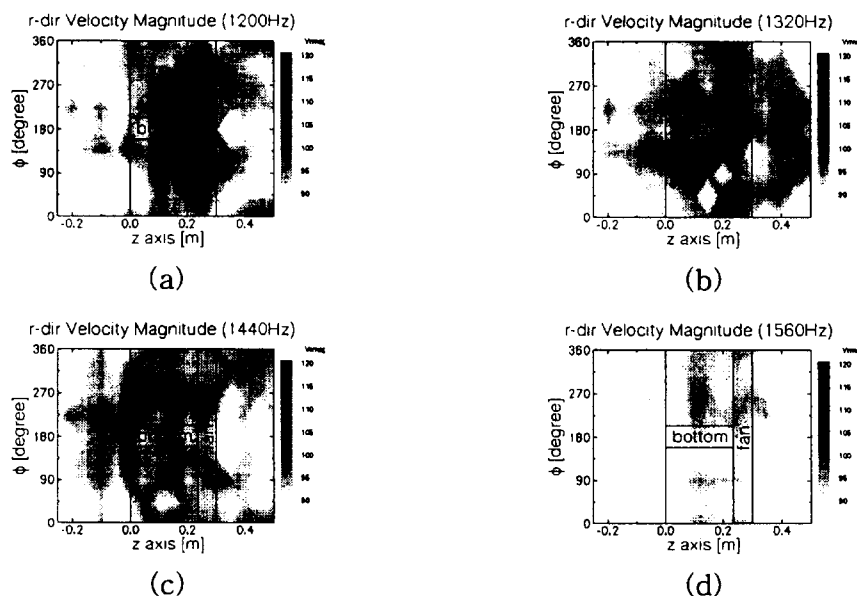


Fig. 10 Estimated radial directional velocity on source plane : without load condition
 (a) 1200Hz (b) 1320Hz (c) 1440Hz (d) 1560Hz

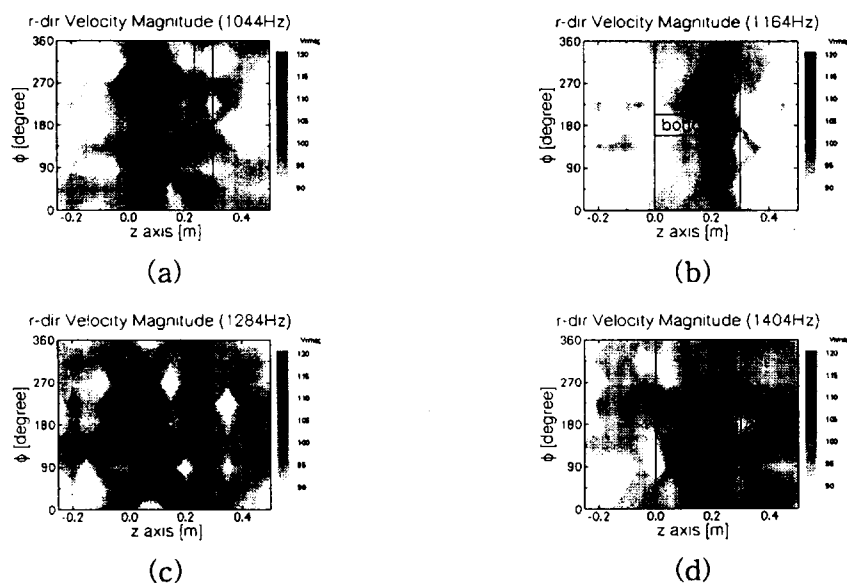


Fig. 11 Estimated radial directional velocity on source plane : with load condition
 (a) 1044Hz (b) 1164Hz (c) 1284Hz (d) 1404Hz

을 수행하였다.

Fig. 8 및 Fig. 9는 각각 무부하시/부하시에 측정된 음압 분포를 주파수별로 보여주고 있다. 각각의 예측된 음압 분포가 상이하게 나타나나 전체적으로 프레임(frame)의 좌우로 큰 음압을 가지고 있음을 알 수 있다. Fig. 10 및 Fig. 11는 음향 홀로그

래피를 이용하여 예측한 입자 속도를 나타내고 있는데 음압 분포와는 다르지만 유도전동기가 고정되어 있는 부분을 기준으로 좌우의 위치에서 큰 값을 보이고 있다. Fig. 12 및 Fig. 13은 음향 인텐시티를 나타내는데 앞의 결과와 비교해 보면 음향 인텐시티와 음압 또는 입자 속도 분포가 서로 일치하지 않음을 알

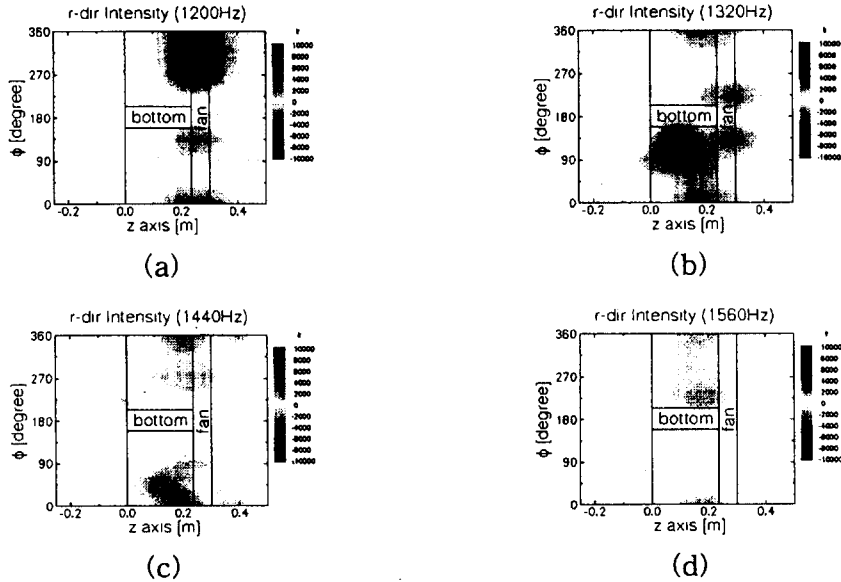


Fig. 12 Estimated radial directional active intensity on hologram plane : without load condition
 (a) 1200Hz (b) 1320Hz (c) 1440Hz (d) 1560Hz

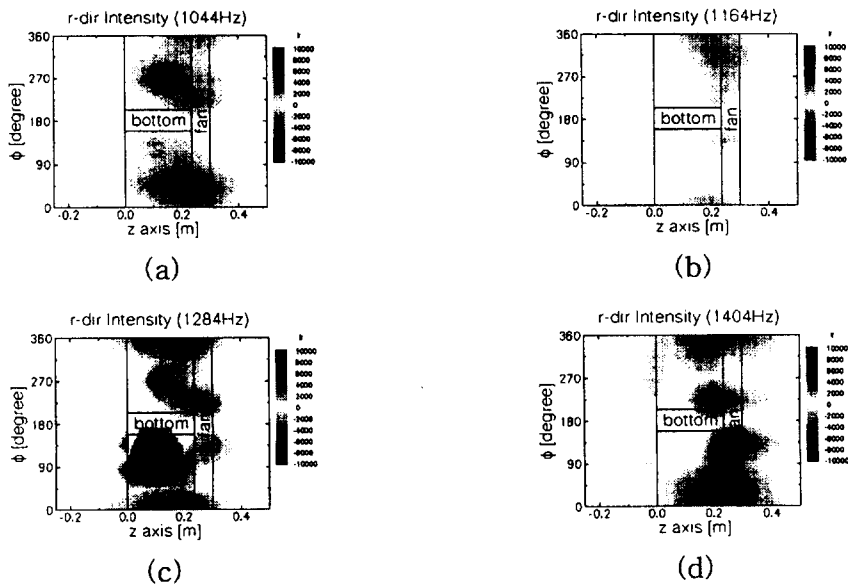


Fig. 13 Estimated radial directional active intensity on hologram plane : without load condition
 (a) 1044Hz (b) 1164Hz (c) 1284Hz (d) 1404Hz

Table 2. Sound pressure level and sound power level

		무부하시		부하시	
음압 레벨	우단	1200 Hz	42 dB	1044 Hz	44 dB
		1320 Hz	49 dB	1164 Hz	47 dB
		1440 Hz	46 dB	1284 Hz	53 dB
		1560 Hz	31 dB	1560 Hz	45 dB
		total	51 dB	total	55 dB
	상단	1200 Hz	34 dB	1044 Hz	50 dB
		1320 Hz	50 dB	1164 Hz	23 dB
		1440 Hz	40 dB	1284 Hz	54 dB
		1560 Hz	40 dB	1560 Hz	45 dB
		total	51 dB	total	56 dB
	좌단	1200 Hz	41 dB	1044 Hz	26 dB
		1320 Hz	31 dB	1164 Hz	41 dB
		1440 Hz	37 dB	1284 Hz	45 dB
		1560 Hz	37 dB	1560 Hz	45 dB
		total	44 dB	total	49 dB
	산술 평균	1200 Hz	38 dB	1044 Hz	40 dB
		1320 Hz	47 dB	1164 Hz	37 dB
		1440 Hz	39 dB	1284 Hz	51 dB
		1560 Hz	36 dB	1560 Hz	45 dB
		total	49 dB	total	53 dB
음향 파워 레벨	1200 Hz	52 dB	1044 Hz	55 dB	
	1320 Hz	53 dB	1164 Hz	47 dB	
	1440 Hz	50 dB	1284 Hz	61 dB	
	1560 Hz	46 dB	1560 Hz	60 dB	
	total	57 dB	total	64 dB	

KS C 4202 기준 : 72dB

수 있다. 이는 베드의 반사파에 의한 영향으로 음향 에너지가 옆으로 방사되기 때문이라 생각되어진다.

4. 유도전동기의 소음도 평가

4.1 음압 레벨 및 음향 파워 레벨⁷⁾

구조물의 진동에 의해서 발생하는 소음의 시끄러운 정도를 정량적으로 표현하는 방법으로 음압 레벨(SPL, Sound Pressure Level)과 음향 파워 레벨(PWL, Sound Power Level)이 널리 쓰이고 있다. 음압 레벨은 공간상의 임의의 점에서 음압의 크기를 나타내는 척도로서 음원뿐만 아니라 주위 환경의 조건의 변화에 의해 달라지게 된다. 따라서 소음원만의 특성을 파악하는데는 적합하지 않는 지수라고 할 수 있으며 음압 레벨을 표기할 때는 소음원과 주위 환경을 같이 기술해야 의미가 있다고 할 수 있겠다. 이에 반해 음향 파워 레벨은 음원으로부터 방사되는 음파 에너지의 파워를 나타내는 척도로서 주

위 환경과 관계없이 음원의 특성에 의해서 결정되므로 음원만의 특성을 잘 표현할 수 있는 지수가 된다. 이 두 지수는

$$L_w = L_p - 10 \log \left(\frac{Q_\theta}{4\pi r^2} - \frac{4}{R} \right) \quad (5)$$

와 같은 관계식을 가지고 있다. 여기서 L_w 는 음향 파워 레벨을, L_p 는 음압 레벨을 나타내며 Q_θ 는 방향 지수, R 은 실내 상수(room constant)로서 주위환경의 형상 및 재질에 의해서 결정되어지는 상수이다.

음향 파워 W 는 홀로그래프면에서의 측정 데이터로부터

$$W = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left\{ \int_S P \vec{V} \cdot d\vec{S} \right\} \quad (6)$$

와 같은 관계식에 의해 구할 수 있다. 여기서 F 는 음압, \vec{V} 는 입자 속도, S 는 측정면을 의미한다. 따라서 식 (5)와 식 (6)을 이용하면 음향 홀로그래프로부터 음압 레벨 및 음향 파워 레벨을 계산할 수 있다.

4.2 유도전동기의 소음도 평가 결과

Table 2는 앞 절에서 행한 실험을 바탕으로 유도전동기의 소음도를 계산할 결과이다. 음압 레벨 및 음향 파워 레벨은 전동기를 측방향에서 바라봤을 때 위, 오른쪽, 왼쪽의 3 방향으로 1m 떨어진 위치에서 측정하였다. KS C에 따르면 유도전동기의 소음도는 4방향에서의 음압 레벨의 평균치로 정의하고 있으나 측 방향으로는 홀로그래피를 이용한 예측이 불가능해 결과와 같이 3방향에서 계산하였다. 계산 결과, 전동기의 음압 레벨은 무부하시 49dB, 부하시 53dB이며 음향 파워 레벨은 무부하시 57dB, 부하시 64dB임이 밝혀졌다. 음압 레벨은 실험에 사용된 모델의 경우 72dB를 넘지 않도록 규정하고 있는데 본 연구에서 수행되어진 유도전동기는 KS규격에는 적합한 것을 알 수 있다.

5. 결 론

원통형 음향 홀로그래피 방법에 나타나는 오차를 줄이기 위한 방법으로 최소 오차 창문 함수(MEW)를 적용하였으며 모의 실험을 통해 그 가능성을 확인하였다. 유도전동기에서 방사되는 음압을 측정하여 음압, 입자 속도, 음향 인텐시티 등을 예측하는 등의 소음 방사를 가시화하였으며 주로 좌우의 아래 부분에서 큰 소음을 방사하고 있는 것을 확인하였다. 또한 유도전동기의 소음 지수를 나타내는 음압 레벨 및 음향 파워 레벨을 예측하여 실험에 사용된 전동기는 국내 규격에 적합함을 확인하였다.

후 기

본 연구는 전력기초공동연구소의 지원으로 이루어졌음을 밝히고 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Fahy, F. J., 1989, Sound Intensity, ELSEVIER, New York.
- (2) 최재웅, 1993, 근접장에서의 소음원 규명론, 한국과학기술원 박사학위논문.
- (3) Maynard, J. D., Williams E. G., and Lee, Y., 1985 "Nearfield Acoustic Holography: I. Theory of Generalized Holography and Development of NAH," J. Acoust. Soc. Am., Vol. 78, No. 4, pp. 1395~1413.
- (4) 김양한, 1996, "소음원 규명 방법론: 통합된 개념 및 특성들," 소음진동공학회지, 제6권, 제6호, pp.692~700.
- (5) 김시문, 권휴상, 김양한, 1995, "원통면 음향 홀로그래피를 이용한 음장 예측의 오차 해석 및 적용 방법," 한국소음진동공학회지, 제 5권, 제 1호, pp. 37~48.
- (6) Kwon, H.-S., and Kim, Y.-H., 1995, "Minimization of Bias Error due to Windows in Planar Acoustic Holography Using a Minimum Error Window," J. Acoust. Soc. Am., Vol. 98, No. 4, pp. 2104~2111.
- (7) Irwin J. D., and Graf E. R., 1979, Industrial Noise and Vibration Control, Prentice-Hall, New Jersey.