

음장의 공간 복소 포락: 정의와 특성

Spatial Complex Envelope of Acoustic Field : Its Definition and Characteristics

박 춘 수* · 김 양 한*

Choon-Su Park and Yang-Hann Kim

(2007년 4월 2일 접수 ; 2007년 7월 13일 심사완료)

Key Words : Spatial Modulation(공간변조), Spatial Complex Envelope(공간 복소 포락), Geometric Transformation(기하변환), Acoustical Holography(음향 홀로그래피)

ABSTRACT

We can predict spatial acoustic pressure distribution on the plane of interest by using acoustic holography. However, the information embedded in the distribution plot is usually much more than what we need: for example, source locations and their overall propagation pattern. One possible candidate to solve the problem is complex envelope analysis. Complex envelope analysis extracts slowly-varying envelope signal from a band signal. We have attempted to extend this method to space domain so that we can have spatial information that we need. We have to modulate two dimensional data for obtaining spatial envelope. Although spatial modulation basically follows the same concept that is used in time domain, the algorithm for the spatial modulation turns out to be different from temporal modulation. We briefly describe temporal complex envelope analysis and extend it to spatial envelope of 2-D acoustic field by introducing geometric transformation. In the end, the results of applying the spatial envelope to the holography are envisaged and verified.

1. 서 론

시간 음향 홀로그래피(time-domain acoustic holography)를 통해 시간에 따라 변하는 음압 분포를 관찰할 수 있고^(1,2), 이로부터, 음장을 형성하는 음원의 위치 및 형태를 예측할 수 있다. 음원의 위치 및 음장 형태의 정보를 실시간으로 관찰할 수 있다면, 소음제어를 위한 빠르고 유용한 정보를 효과적으로 얻을 수 있을 것이다. 그러나, 이를 실제로 구현하기 위해서는 다음의 문제들을 해결해야 한다. 첫 번째는 오랜 연산 시간 때문에 발생하는 문제점, 즉 실시

간 정보 파악이 어렵다는 것이고, 두 번째는 얻어진 음장이 우리가 필요로 하는 것보다 많은 정보를 포함하고 있기 때문에 발생하는 문제점이다. 전자는 처리해야 할 데이터량이 많기 때문에 발생하는 연산 시간 문제(processing time problem)이고, 후자는 홀로그래피의 분석문제(analysis problem)⁽³⁾와 관련된 것이다.

연산 시간을 줄이고, 음장에서 원하는 정보만을 얻기 위한 방법으로 음장의 포락 해석을 생각해 볼 수 있다. 왜냐하면, 이 방법은 파형의 전체적인 변화에 대한 정보는 유지하면서, 복잡한 파형을 단순하게 나타내는 방법이기 때문이다. 이는 Fig. 1에서 보이는 것과 같이 복잡하게 형성되는 음장에서 음원에 대한 필수적인 정보(음원의 위치 및 방사 형태)를 파악하는데 필요한 정보만을 제공하는 음장으로 만드는 것을 의미한다. 포락 해석 방법은 시간 영역에서 오랫동안 연구되어왔다⁽⁴⁻⁹⁾. 대표적인 포락의 정의에

* 교신저자: 정희원, 한국과학기술원 기계공학과 노빅센터
E-mail : cpure77@kaist.ac.kr
Tel : (042) 869-3075, Fax : (042) 869-8220

* 정희원, 한국과학기술원 기계공학과 노빅센터

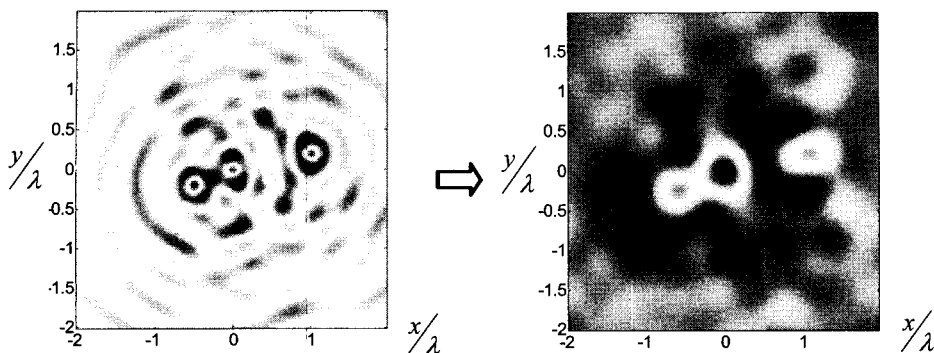


Fig. 1 Acoustic pressure fields, (a) Original field, (b) Complex envelope of the field

는 다음의 세 가지가 있다. 첫 번째로 Rice에 의해 정의되는 포락(natural envelope)⁽⁷⁾이다. 이 정의는 복소수의 해석 신호(analytic signal)에 절대값을 씌워 구한 양(positive)의 크기만을 갖는 포락이다. 두 번째는 Dugundji에 의해 정의된 것으로 전-포락(pre-envelope)⁽⁸⁾으로 불린다. 이 포락은 Rice의 포락에서 절대값을 취하기 전의 해석 신호 자체를 가리킨다. 세 번째는 복소포락(complex envelope)으로, 해석 신호에서 중심(center) 주파수 성분이 제거된 포락을 크기와 위상을 갖는 복소수로 표현한 것이다.

잘 알려진 포락의 개념을 확장하여 홀로그래피의 두 가지 문제를 해결하기 위한 방법으로 공간에서의 포락을 제안 한다. 이를 위해 공간 영역에서의 포락을 정의하고, 공간 포락을 구하기 위한 변조 방법으로 기하 변환(geometric transformation)을 제안한다. 마지막으로, 이 방법을 음향 홀로그래피에 적용하여 구한 결과를 통해 그 효과를 검증한다.

2. 시간 영역 포락 해석

포락(包絡, envelope)은 빠르게 변하는 복잡한 신호의 전체적인 변화 형태를 나타내며 주파수 영역에서 협대역(narrow band)신호의 형태를 가지고 있다. 이는 포락 신호가 대역 신호의 대역폭(bandwidth)과 대역 내의 구성 성분에 의해서 그 형태가 결정되기 때문이다⁽¹⁰⁾.

서론에서 언급한 세 가지 포락의 종류 중에서 중심 주파수보다는 포락 신호에만 관심이 있는 경우에는 복소 포락을 이용하는 것이 편리하다. 이 복소

포락은 복소수의 형태로 다음과 같이 정의된다.

$$\tilde{x}(t) = \tilde{x}_{CE}(t)e^{j2\pi f_c t} \quad (1)$$

여기서, $\tilde{x}_{CE}(t)$ 는 복소 포락을, f_c 는 중심 주파수를 의미한다. 식 (1)을 통해 복소 포락은 특정 대역 신호의 중심 주파수에 대해서 크기와 위상 정보를 가지고 변화하는 복소 진폭 신호인 것을 알 수 있고, 이것이 복소 포락이라는 이름을 갖게 된 이유이다.

복소 포락을 얻기 위한 대표적인 방법으로 복소 변조(complex modulation)⁽⁹⁾방법이 있다. 앞으로 제안하는 공간 변조 방법이 이 개념을 기본으로 하고 있으므로 이에 대해 알아보자. 식 (2)와 같이 중심 주파수, f_c 와 시간 변화 진폭(time varying amplitude), $A(t)$ 를 가지는 신호를

$$x(t) = A(t) \cos(2\pi f_c t) \quad (2)$$

와 같이 생각하자. 간단한 경우를 통해 이해를 쉽게 하기 위해 $A(t)$ 를 $A(t) = A \cos(2\pi f_m t)$ 와 같이 정의 하자. 여기서 A 는 상수이고, f_m 은 변조(modulation) 주파수이다. Fig. 2는 중심 주파수 성분과 시간 변화 진폭 그리고 $x(t)$ 를 시간 영역에서 나타낸 그림이다. (a)와 (b)가 곱해져서 $x(t)$ 를 구성하고 있음을 볼 수 있다. Fig. 3은 Fig. 2의 각각의 성분들을 주파수 영역에서 나타낸 것이다.

이 신호의 포락을 구하기 위해서는 주파수를 이동시키는 것이 필요하다. 즉, $f_c - f_m$ 은 $-f_m$ 으로, $f_c + f_m$ 은 f_m 으로 옮기는 연산을 해주면 포락을 구할 수 있다. 이렇게 옮기고자 하는 주파수의 음의

값을 가진 지수함수를 곱하여 주파수를 이동시키는 방법이 복소 변조이다. 그러나, 변조에 의해서 원하는 이동뿐만 아니라 고주파 성분도 나타나므로 저역 통과 여파기(low-pass filter)를 이용한 여파가 필요하다. 주파수 이동을 위해 식 (2)에 $e^{-j2\pi f_m t}$ 를 곱해 변조 시키면,

$$\tilde{x}_m(t) = \frac{A}{4} \left\{ e^{j2\pi f_m t} + e^{-j2\pi f_m t} + e^{-j2\pi(2f_c + f_m)t} + e^{-j2\pi(2f_c - f_m)t} \right\} \quad (3)$$

과 같이 정리된다. 여기서 앞의 두 항이 포락의 정보를 가지고 있는 항이며, 뒤의 두 항은 고주파 성분들이다. Fig. 4는 $x(t)$ 와 $\tilde{x}_m(t)$ 의 차이를 주파수 영역에서 잘 보여준다. Fig. 4(a)는 $x(t)$ 를 푸리에 변환하여 주파수 영역에서 나타낸 것이고, Fig. 4(b)는 식 (3)을 푸리에 변환하여 주파수 영역에서 나타낸 것이다. 저역 통과 여파를 통해 저주파 성분만 남기면, 식 (4)와 같이 시간 변화 진폭과 같은 형태의 포락 신호를 구할 수 있다.

$$\tilde{x}_m^L(t) = A \cos(2\pi f_m t) \quad (4)$$

여기서, 상첨자 L 은 저역 통과되었다는 것을 의미하고, 하첨자 m 은 변조된 신호를 의미한다.

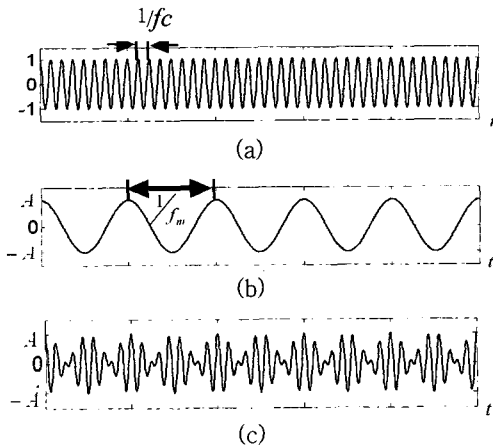


Fig. 2 Time signal of each component in $x(t)$, (a) Carrier signal with f_c , (b) Time-varying amplitude, (c) $x(t)$ (f_c : characteristic and f_m : modulation frequency)

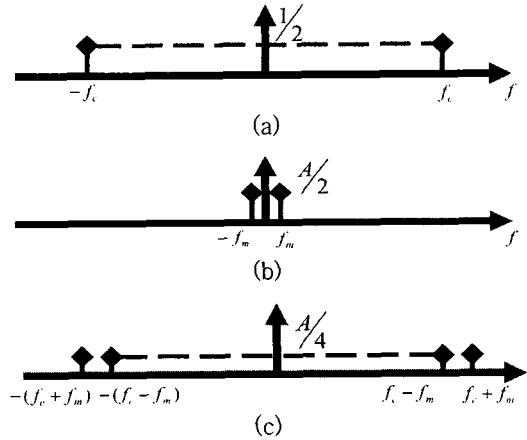


Fig. 3 Frequency spectrum of each component in Fig. 1, (f_c : characteristic frequency, f_m : modulation frequency)

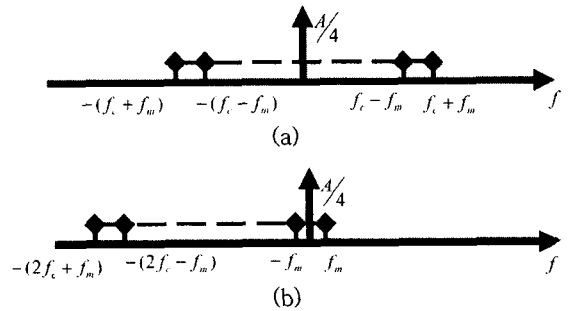


Fig. 4 Frequency spectra of (a) $x(t)$ and (b) $x_m(t)$ (f_c : characteristic frequency, f_m : modulation frequency)

3. 공간 복소 포락

공간을 전파하는 음파의 공간 복소 포락은 시간 영역에서의 포락과 개념적으로 동일하다. 왜냐하면, 음파는 분산관계에 의해서 시간과 공간상을 일정한 관계를 가지고 전파하기 때문이다. 즉, 파수 영역에서 파수를 이동시키면, 이로부터 포락신호를 얻을 수 있음을 의미한다. 이를 자세하게 살펴보자.

3.1 공간-파수 영역에서의 복소 포락

공간에서의 복소 포락을 살펴보기 위해서는 3차원 공간을 전파해나가는 음파의 공간과 파수 영역 사이의 관계를 알아야 한다. 이들은 공간 푸리에 변환 (spatial Fourier transform) 관계를 가지고 있다^(11,12).

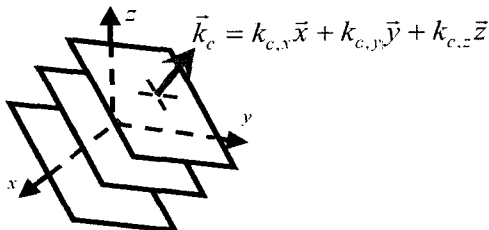
공간상의 음파는 3차원 공간을 전파해 나가기 때문에, 하나의 파수 성분도 세가지 성분의 조합으로 표현이 된다. 이를 직교 좌표계(cartesian coordinate)를 이용하여 표현하면,

$$k_c^2 = k_{c,x}^2 + k_{c,y}^2 + k_{c,z}^2 \quad (5)$$

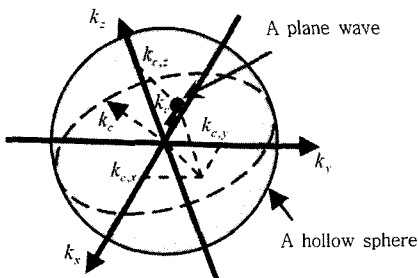
파 같이 된다. 여기서, k_c 는 하나의 파장(wavelength)을 가지는 파수(wavenumber)이고, $k_{c,x}$, $k_{c,y}$, 그리고 $k_{c,z}$ 는 각각 x , y , z 방향의 파수 성분을 나타낸다. 하첨자 c 는 중심 주파수에 대응하는 파수성분을 나타내기 위해 사용하였다. 식 (5)로부터, 하나의 파수성분은 반지름을 k_c 로 하는 구(sphere)의 표면에 위치함을 알 수 있다. 이해를 돕기 위해 하나의 평면파가 Fig. 5(a)와 같이 공간상에서 전파하고 있으면,

$$P(x, y, z; k_c) = e^{j(k_{c,x}x + k_{c,y}y + k_{c,z}z)} \quad (6)$$

파 같이 표현할 수 있다. 식 (6)을 3차원 공간 푸리에 변환하면 Fig. 5(b)와 같이 반지름 k_c 인 구 위에 나타난다. 이는 주파수가 다른 성분은 반지름이 다른 구 표면에 위치하게 될 것임을 의미한다.



(a) Space domain

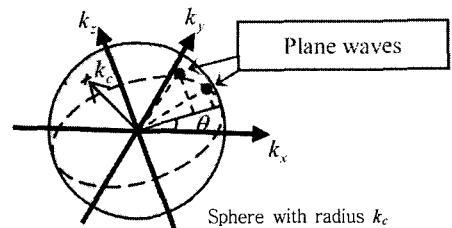


(b) Wavenumber domain

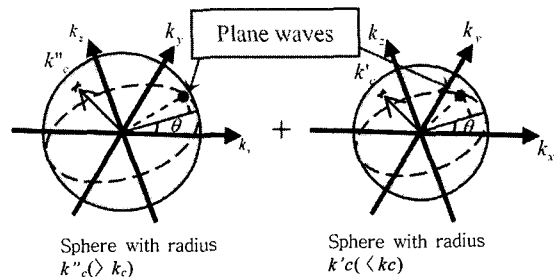
Fig. 5 Representation of a plane wave in space and wavenumber domain

이제 하나의 주파수가 아닌 시간과 공간에서 포락 신호를 만드는 대역 신호를 살펴보자. 공기 중의 음파는 분산 관계를 가지고 있으므로, 대역 신호도 시간과 공간에서 대역 신호의 특성을 가지고 전파한다. 이것은 공간에서도 시간영역에서와 같이 공간을 따라 변하는 진폭(포락)을 생성시키는 것을 의미한다. 이 포락은 여러 개의 주파수 성분을 가지므로, 시간 영역 음향 홀로그래피를 통해서만 관찰할 수 있다.

이 사실은 홀로그래피를 이용하여 음장을 보는 방법에 따라, 두 가지 형태의 포락 신호가 정의될 수 있음을 의미한다. 첫 번째는 하나의 주파수 성분을 가진 음장의 공간 포락이고, 다른 하나는 여러 주파수로 구성된 음장의 복소 포락이다. Fig. 6은 이 두 포락의 차이를 두 평면파 성분의 경우에 대해 나타낸 것이다. (a)는 하나의 파수 성분이지만 x - y 방향의 파수 성분이 다른 두 평면파가 있는 경우이고, (b)는 서로 다른 파수를 가진 평면파가 각각 하나씩 존재하는 경우이다. 여기서, 비록 공간에서의 음파는 3차원적으로 전파하지만 우리가 실제로 측정하고 관찰하는 것은 평면이다. 따라서, 2차원 파수 스펙트럼을 통해 관찰하는 것이 의미 있을 것이다. Fig. 5(b)의 파수 스펙트럼을 2차원 파수 스펙트럼으로 표현



(a) Two plane waves with same wavenumber



(b) Two plane waves with different wavenumber

Fig. 6 Different kinds of complex envelope with respect to frequency components

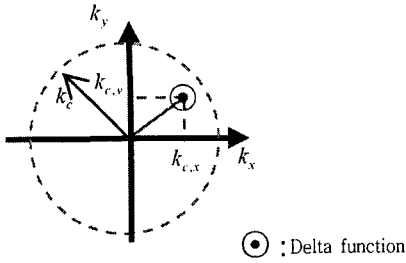


Fig. 7 Wavenumber spectrum of a plane wave in 2D plane

하면 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서와 같이 2차원에서는 k_c 를 반지름으로 하는 방사원^(12,13)으로 표현되고 평면파의 z방향으로의 파수 성분은

$$\hat{P}(k_x, k_y, k_z; k_c) = e^{jk_c \cdot z} \delta(k_x - k_{c,x}) \delta(k_y - k_{c,y}) \quad (7)$$

과 같이 델타 함수의 위상 정보로 표현된다.

3.2 공간 변조 알고리즘

(1) 공간 변조의 개념

공간 변조의 기본 개념은 시간 영역에서의 변조와 동일하다. 즉, 시간 영역에서 변조에 의해 주파수 성분이 이동 되는 것과 같이, 공간에서도 변조에 의해 파수 성분이 이동해야 하는 것이다. 공간에서의 파수 성분은 해당 파수 성분을 반지름으로 하는 방사원과 연관되어 있으므로, 파수가 이동한다는 것은 방사원의 반지름이 변하는 것을 의미한다.

간단한 경우로 두 개의 근접한 주파수를 가지는 평면파를 통해서 공간 변조가 어떻게 이루어져야 하는지 살펴보자. 근접한 두 주파수 f_{c1} , f_{c2} 로 구성된 다음과 같은 음장을 살펴보자.

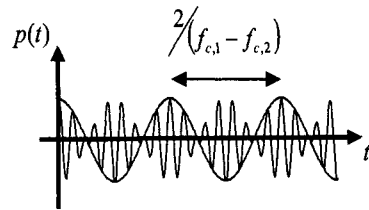
$$p(x, y, z; t) = \frac{1}{2} \left(e^{jk_{c1} \cdot \vec{r}} e^{-j2\pi f_{c1} t} + e^{jk_{c2} \cdot \vec{r}} e^{-j2\pi f_{c2} t} \right) \quad (8)$$

여기서, 각각의 파수 성분 k_{c1} 과 k_{c2} 는 식 (5)에서와 같이 각 방향 성분의 조합으로 나타내어진다. 그리고, x-y평면에서 전파하는 방향은 θ 로 동일하고, 각 파수의 x-y방향 파수 성분들이

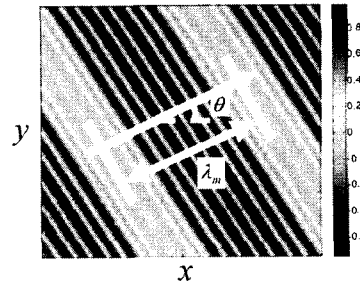
$$k_m = \sqrt{k_{c1,x}^2 + k_{c1,y}^2} - \sqrt{k_{c2,x}^2 + k_{c2,y}^2} \quad (9)$$

과 같은 관계가 있다고 가정하자. 그러면, 이 음장은 시간과 공간 영역에서 Fig. 8과 같이 나타나고, 두 개의 근접한 주파수가 시간과 공간에서 포락 신호를 가지는 대역 신호를 만들고 있음을 볼 수 있다. 이 신호를 주파수와 파수 영역에서 나타내면 Fig. 9와 같다.

대역 신호에서 포락 신호만을 뽑아내기 위해서는 시간과 공간에서 변조를 해야 한다. 시간영역에서의 변조는 복소 변조를 이용해 주파수를 Fig. 10(a)와 같이 이동시키는 것을 의미한다. 여기서 $f_{c1,m}$ 과 $f_{c2,m}$ 은 각각 변조된 주파수를 나타낸다. 이제 공간



(a) Time signal



(b) Spatial pressure distribution

Fig. 8 Plane waves with nearby frequencies in time and space

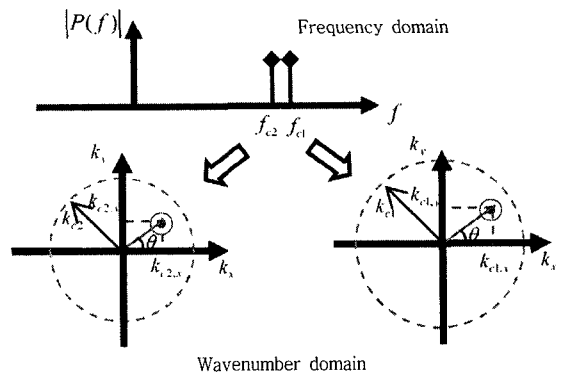


Fig. 9 Frequency and wavenumber spectrum of plane waves with nearby frequencies

변조에 대해서 알아보자. 주파수영역에서의 이동과 마찬가지로 파수의 이동도 동일한 현상을 나타내야 하므로, Fig. 10(b)와 같이 이동해야 함을 알 수 있다. 즉, 변조에 의해서 파수가 변해야 하고, 파수가 변한다는 것은 원의 반지름이 변한다는 것을 의미한

다. 또, 평면상의 모든 점들이 반경 방향으로 동일하게 축소 혹은 확대가 되어야 한다. 그리고, Fig. 10(a)에서 음의 주파수 영역으로 넘어가는 성분에 대응하는 파수 영역에서의 변화가 있어야 한다.

(2) 기하 변환(geometric transformation)

공간 변조의 개념을 통해 살펴본 바에 의하면, 공간 변조를 위해서는 방사원의 신축(scaling)과 원점 대칭(reflection to an origin)이 필요하다. 이를 위한 방법으로 기하 변환이 있다.(Fig. 11참조) 신축은 Fig. 9와 Fig. 10에서 보이는 것과 같이 변조에 따른 원의 축소를 위해 필요한 변환이고, 원점 대칭은 관심 주파수 성분이 음의 주파수 성분으로 변했을 때 파수 성분을 그에 맞는 음의 파수 위치로 보내기 위해 사용하였다. 여기서, 기하변환 연산자로 각각 신축 변환은 $Sc\{\}_{\alpha}$ 으로, 원점 대칭 변환은 $Ref\{\}_{\theta}$ 와 같이 정의하자. α 는 신축지수(scaling factor)로써, $k'_x = k_x/\alpha$ 로 정의되고, o 는 원점을 의미한다.

(3) 공간 포락 검출

이제 식 (8)에 주어진 신호를 공간 변조 시켜서 공간 복소 포락을 구해보자. 식 (8)을 시간 및 공간에 대해서 푸리에 변환 하여 각각의 주파수에 대해서 표현한 뒤, 제안한 방법으로 시간과 공간에 대해 변조를 시키면,

$$\hat{P}_m(k'_x, k'_y, z; f_{2,m}) = Ref\{Sc\{\hat{P}(k_x, k_y, z; f_{2,m})\}_{\beta}\}_{\theta} = \frac{e^{jk_{c2,z}}}{|\beta|^2} \delta(k'_x + \frac{k_{c2,x}}{\beta}) \delta(k'_y - \frac{k_{c2,y}}{\beta}) \quad (10)$$

$$\hat{P}_m(k'_x, k'_y, z; f_{1,m}) = Sc\{\hat{P}(k_x, k_y, z; f_{1,m})\}_{\alpha} = \frac{e^{jk_{c1,z}}}{|\alpha|^2} \delta(k'_x - \frac{k_{c1,x}}{\alpha}) \delta(k'_y - \frac{k_{c1,y}}{\alpha}) \quad (11)$$

와 같이 된다. 여기서, α 와 β 는 각각 k_{c1} 과 k_{c2} 를 $k_{c1,m} = k_{c1}/\alpha$ 과 $k_{c2,m} = k_{c2}/\beta$ 으로 이동시켜 $\sqrt{k_{c1,m,x}^2 + k_{c1,m,y}^2} - \sqrt{k_{c2,m,x}^2 + k_{c2,m,y}^2} = k_m$ 를 만족시키는 스케일링 지수이다. 식 (10), (11)에서 스케일 지수에 의해 변화된 크기를 보상해주고, 시간과 공간에 대해서 각각 역푸리에 변환을 하면,

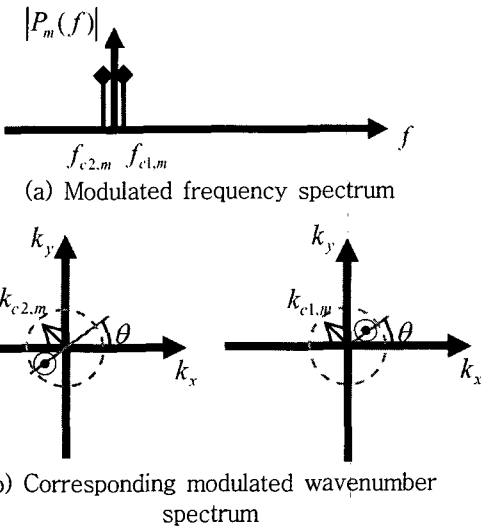


Fig. 10 Modulated frequency and wavenumber spectrum of the plane waves

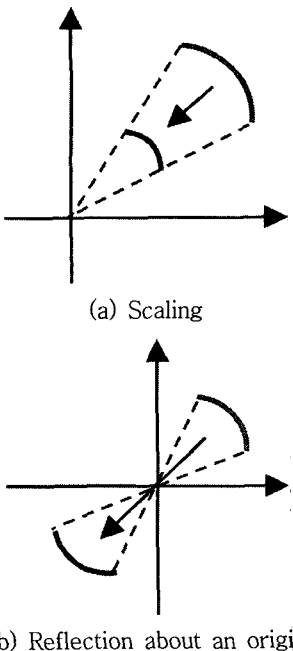


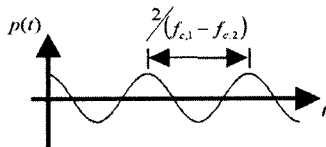
Fig. 11 Geometric transformation for spatial modulation

$$p_m(x, y, z; t) = \frac{1}{2} \left\{ e^{j\left(\frac{k_{m,x}}{2}x + \frac{k_{m,y}}{2}y\right)} e^{jk_{c1,z}z} e^{-j2\omega_{c1}t} + e^{-j\left(\frac{k_{m,x}}{2}x + \frac{k_{m,y}}{2}y\right)} e^{jk_{c2,z}z} e^{-j2\omega_{c2}t} \right\} \quad (12)$$

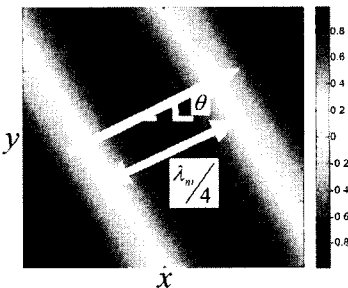
가 되어서, 시간과 공간에서 포락 신호가 구해진다. x-y 평면에서의 음장은 복소 포락 형태로 구해지지만, z방향의 파수 정보는 변하지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 x-y 평면에 대해서만 변조를 시켰기 때문이며, 홀로그래피 과정에서 z방향으로의 전파특성은 변하지 않아야 하는 이유때문이다. 구해진 x-y 평면의 복소 포락은 Fig. 12와 같이 나타내진다.

4. 홀로그래피에의 적용

기존의 홀로그래피 방법은 파수 영역에서 얻어진 파수 스펙트럼에 전파자(propagator)를 곱하여 예측면에서의 파수 스펙트럼을 구하고, 이를 공간 역 푸리에 변환을 통해 음장을 구해낸다. 이 연산과정은 변조시킨 전파자를 사용하면 공간 포락 음장에 대해서도 동일하게 적용할 수 있다. 동차 디리클레트(Dirichlet) 경계조건을 만족시키는 전파자⁽³⁾를 각각의 변조된 주파수에 대해서 구성하면,



(a) Time signal



(b) Spatial distribution

Fig. 12 Temporal and spatial complex envelopes

$$\tilde{G}_m(k_x, k_y, z_p - z_h) = \exp\left\{j(z_p - z_h)\sqrt{(-k_m)^2 - k_x^2 - k_y^2}\right\} \quad (13)$$

$$\tilde{G}_m(k_x, k_y, z_p - z_h) = \exp\left\{j(z_p - z_h)\sqrt{k_m^2 - k_x^2 - k_y^2}\right\} \quad (14)$$

와 같다. 예측면에서의 음장을 구하기 위해서 크기와 위상에 영향을 주는 스케일 지수 α 와 β 를 보상해 준 뒤, 식(10), (11)에 식(13), (14)를 각각 곱해주면 된다. 그러면, 파수 스펙트럼이

$$\hat{P}_m(k'_x, k'_y, z_p; f_{2,m}) = e^{jk_{c2,z}z_p} \delta(k'_x + k_{c2m,x}) \delta(k'_y + k_{c2m,y}) \quad (15)$$

$$\hat{P}_m(k'_x, k'_y, z_p; f_{1,m}) = e^{jk_{c1,z}z_p} \delta(k'_x - k_{c1m,x}) \delta(k'_y - k_{c1m,y}) \quad (16)$$

와 같이 얻어지고, 이를 공간 역푸리에 변환하면 예측면에서의 음장을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$p_m(x, y, z_p; t) = \frac{1}{2} \left\{ e^{j\left(\frac{k_{m,x}}{2}x + \frac{k_{m,y}}{2}y\right)} e^{jk_{c1,z}z_p} e^{-j2\omega_{c1}t} + e^{-j\left(\frac{k_{m,x}}{2}x + \frac{k_{m,y}}{2}y\right)} e^{jk_{c2,z}z_p} e^{-j2\omega_{c2}t} \right\} \quad (17)$$

위 식을 통해, 예측면에서 음장의 포락이 재구성되는 것을 볼 수 있다. 고려하는 음장이 평면파로 구성되어 있으므로, 홀로그램면과 예측면 사이의 음장의 차이가 각각의 z방향의 위치 정보로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 식(17)을 통해 관찰하고자 하는 위치에 따른 위상 정보의 재구성이 정확하게 되는 것을 확인할 수 있고, 이를 통해 공간 포락 음장의 홀로그래피 전파 과정이 유효함을 알 수 있다.

5. 결 론

음장의 공간 복소 포락을 정의하고, 그것을 구하

기 위한 공간 변조 방법을 제안하였다. 이를 위해, 시간 영역에서 포락의 정의와 포락 검출을 위한 방법에 대해 설명하고, 이로부터 공간 변조를 위한 방법을 유추하였다. 공간 변조의 개념은 시간 영역에서의 복소 변조와 같지만, 수행 과정은 달라짐을 살펴보았다. 즉, 3차원 공간에서 전파하는 파수들은 기하학적인 연관 관계를 가지고 있으므로 기하변환을 통해 변조시켜야 함을 살펴보았다.

제안한 방법을 가지고 x - y 평면에서 포락을 가지는 평면파에 적용하여 복소 포락을 구할 수 있음을 살펴보았다. 그리고, 이를 홀로그래피 과정에 적용하여 예측면에서의 음장의 공간 포락을 구할 수 있음을 보였다. 이 방법은 평면에 수직인 전파 방향의 전파 특성은 변화시키지 않고 복소 포락을 구할 수 있으므로, 기존의 음향 홀로그래피 전파 과정에 그대로 적용하여 복잡한 음장을 단순화 시킬 수 있음을 보여준다.

후 기

이 논문은 교육인적자원부의 BK21사업에 의한 연구 지원과 한국철도기술연구원에의 철도안전기술 개발사업의 도움으로 진행되었습니다.

참 고 문 헌

(1) Hald, J. 1995, "Time Domain Acoustical Holography", Proceedings of Inter-Noise 95, Newport Beach, California, USA, Vol. 2, pp. 1349~1354.

(2) Kim, Y. -H., Jeon, J.-H. and Choi, J. -W. 2006, "Analysis Problem of Acoustic Holography", Proceedings of WESPAC 13, Seoul, Korea, June 26~28.

(3) Kim, Y. -H., 2004, "Can We Hear the Shape of a Noise Source?", Plenary Lecture, The 18th

International Congresson Acoustic, Kyoto International Conference Hall, Japan.

(4) Childers, D. G. and Pao, M., 1972, "Complex Demodulation for Transient Wavelet Detection and Extraction", IEEE Transaction on Audio and Electro Acoustics, AU-20(4), pp. 295~308.

(5) Kim, Y. -H., Cheung, W. -S. and Kwak, Y. -K., 1988, "Complex Envelope of the Vibration Signature of Ball Bearing System and Its Application to Fault Detection", IV International Congress on Experimental Mechanics, Portland, Oregon, U.S.A., pp. 1067~1071.

(6) Guirong, G., Zhaowen, Z. and Feixue, W., 1998, "Mixer-free All Digital Quadrature Demodulation", Proc. ICSP 98, pp. 1704~1707.

(7) Rice, S. O., 1954, Selected Papers on Noise and Stochastic Processes, New York: Dover.

(8) Dugundji, J., 1958, "Envelopes and Pre-envelopes of Real Waveforms", IRE Trans. Inform. Theory, pp. 53~57.

(9) Roome, S. J., 1989, "Analysis of Quadrature Detectors Using Complex Envelope Notation", IEE Proceedings, Vol. 136, No. 2, pp. 95~100.

(10) Hartmann, W. M., 1998, Signals, Sound, and Sensation, Springer-Verlag New York, Inc. Ch.18.

(11) Bracewell, R. N., 2000, The Fourier Transform and Its Applications, McGraw-Hill Book Co., Ch.13, pp. 329~340.

(12) Williams, E. G., 1999, "Fourier Acoustics-sound Radiation and Near-field Acoustical Holography", Academic Press, Chap. 2~3.

(13) Park, C.-S. and Kim, Y.-H., 2006, "Complex Envelope of Sound Field and Its Application," Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, KSNVE06A-15-03.