

매질에 따른 속도 차이를 보정한 테라헤르츠 단층 촬영

홍혜진*, 남궁찬*, 안창범*
 광운대학교 전기공학과*

Terahertz tomography with the velocity correction in different mediums

Hye-Jin Hong*, Chan Nam-Gung*, Chang-Beom Ahn*
 Department of Electrical Engineering, Kwangwoon University*

Abstract - 본 논문에서는 테라헤르츠파의 시간 영역 데이터로 단층 촬영 방법을 제안하였다. 매질에 따른 테라헤르츠 전파의 속도 차이를 보상하는 알고리즘을 제시하여, 바이오 샘플인 멸치의 단층 영상을 얻었다.

1. 서 론

테라헤르츠파는 적외선과 마이크로파의 중간영역에 해당하는 전자기파로서, 광파의 직진성과 전파의 투과성을 모두 지닌 특성을 가지고 있다. 투과성이 높고 인체에 무해한 특성으로 인해 인체 및 생체조직에 갈을 대지 않고도 투과영상을 얻을 수 있어 보안 검색 및 생체조직에 대한 비파괴 분석, 의료 진단 분야에 응용 되어질 것으로 기대한다. 테라헤르츠 시간 영역 분광법(THz-Time Domain Spectroscopy)은 시간 정보를 깊이 정보로 이용하여 불가시 정보를 영상화하는 단층 촬영이 가능하다.

2. 본 론

2.1 테라헤르츠 전파 속도 보상 접근 방법

전자기파는 주파수(f), 파장(λ), 속도(v) 사이에 연관관계를 지니고 있다. 진공 상태에서 속도는 빛의 속도(c)를 따르며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$c = f \cdot \lambda \quad (1)$$

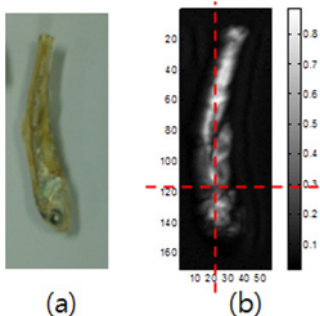
빛 또한 파장이기 때문에 매질이 바뀌면 속도 역시 바뀐다. 빛의 속도가 물질에 따라 감소하는 정도를 굴절률(n)이라고 정의하며, 그 식은 다음과 같다.

$$n = \frac{c}{v} \quad (2)$$

진공의 굴절률은 1이고 공기의 굴절률은 근사적으로 1이다. 매질에 따라 속도가 달라지기 때문에, 단층 촬영의 정확도를 위해선 위와 같은 식에 따라 속도를 보정해주는 것이 필요하다.

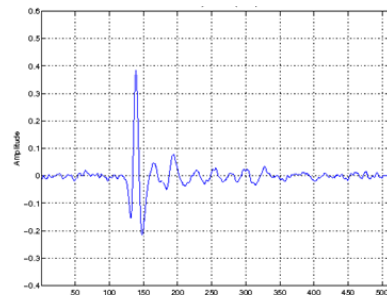
본 실험은 반사되는 테라헤르츠 파를 통해 영상을 획득하였다. 식 (2)를 변형하여 샘플에서의 전파 속도 비를 측정, 속도를 보정해준 결과를 제시하였다.

샘플로는 가로 10mm, 세로 38mm의 일반 마른 멸치를 사용하였으며 데이터 측정은 가로, 세로 56, 170 픽셀을 획득하였다. <그림 1-(a)> 는 샘플 멸치의 실제 사진이고 <그림 1-(b)> 는 획득한 테라헤르츠 파의 각 픽셀에서 최고점 신호로 생성한 이차원 영상이다.



<그림 1> (a) 샘플로 사용된 마른 멸치
 (b) 측정된 영상의 최고점 영상

<그림 2>는 멸치로부터 획득한 테라헤르츠 파형이다.



<그림 2> 멸치로부터 획득한 테라헤르츠 파형

<그림 1-(b)>상에서 가로 32, 세로 40의 한 픽셀의 파형으로 가로축은 시간에 따른 512포인트, 세로축은 반사되어진 파형의 진폭을 나타낸다. 최고점 신호가 샘플의 표면에서부터 반사되어진 신호라고 가정했을 때, 그 이후의 신호는 샘플 내부를 투과 후 반사되어지는 신호이다.

2.1.1 멸치의 테라헤르츠 전파 속도 비 측정

실제적으로 샘플 데이터인 멸치를 하나의 매질로 정의할 수는 없지만 가장 확연히 구분될 수 있는 공기과 샘플 표면의 테라헤르츠 전파 속도를 보정해 주는 것을 목표로 하였다.

실험한 테라헤르츠 영상 시스템은 픽셀 간 지연 시간이 36 picosecond, 한 픽셀에 따라 얻을 수 있는 샘플 포인트는 512 포인트, 한 픽셀의 해상도는 250um이다. 앞에서 제시한 식 (2)를 적용, 변형하여 전파 속도 비를 측정하였다. 변형되어진 식은 다음과 같다.

$$n = \frac{c}{v} = \frac{v_{air}}{v_{anchovy}} = \frac{t_{anchovy}}{t_{air}} \quad (3)$$

(v_{air} : 공기 중의 전파 속도)

$v_{anchovy}$: 샘플인 멸치에서의 전파 속도

t_{air} : 공기 상에서 전파의 이동 시간

$t_{anchovy}$: 샘플인 멸치에서의 전파의 이동 시간)

속도는 이동거리/시간 이므로 일정한 거리에서 매질을 통과 후 반사되어진 테라헤르츠 전파의 최고점의 인덱스 비를 통해 멸치에서의 전파 속도 비를 구하였다. 대략적으로 멸치에서의 전파 속도 비는 1.6으로 구해졌으며 구해진 전파 속도 비에 근거하여 다음과 같이 속도를 보정한다.

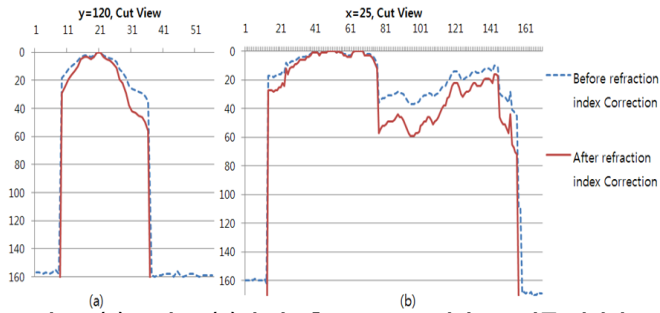
2.1.2 매질에 따른 테라헤르츠 전파 속도 보상

처음 나오는 최고점의 인덱스를 기준으로 측정되어진 멸치에서의 전파 속도 비에 근거하여 속도를 보정해주었다. 시간정보가 결국 깊이 정보이므로, 인덱스 값을 보정해주어 깊이 정보를 보정해주었다.

<그림 3>은 <그림 1-(b)>의 점선에 따라 가로 축과 세로축 단편의 최고점의 인덱스를 나타내었다.

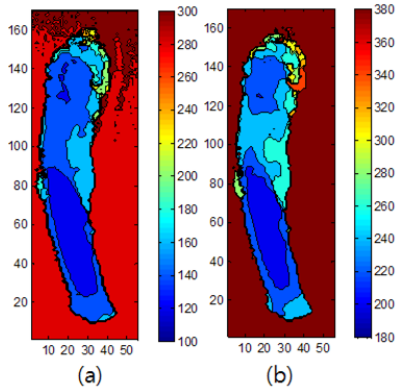
<그림 3>의 가로축은 영상의 축별 픽셀이고, 세로축은 그에 따른 최고점 신호의 인덱스 값이다. 속도 차이를 보정해줌에 따라 생기는 인덱스의 오프셋 값을 제외하고 매질에서의 테라헤르츠 전파 속도 차이에 따른 굴곡의 변화를 보여주었다.

보상 전 표면의 굴곡진 부분이 속도 차이를 보정해 줌에 따라 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.



**<그림 3> (a) 그림 1-(b)의 가로축 120point 기점으로 자른 이미지
(b) 그림 1-(b)의 세로축 25point 기점으로 자른 이미지**

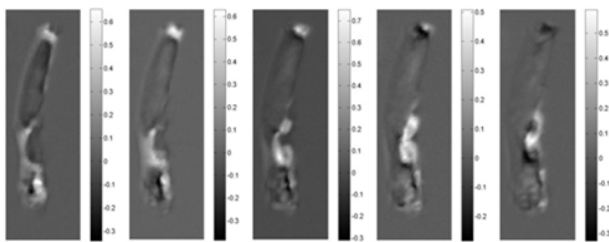
<그림 4>는 인덱스 값에 따른 등고선 영상이다. 등고선의 기준은 최고점 신호가 나오는 범위 안에서 20 포인트씩 등 간격으로 설정하였다.



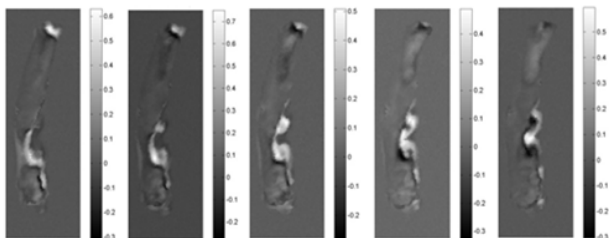
**<그림 4> (a) 전파 속도 보상 전 최고점 인덱스 등고선 영상
(b) 전파 속도 보상 후 최고점 인덱스 등고선 영상**

2.1.3 매질에 따른 속도를 보정한 테라헤르츠 단층 촬영 영상

연급한 바와 같이 한 픽셀 마다 512개의 시간 정보이며 동시에 샘플의 깊이 정보가 획득되어진다. 테라헤르츠의 투과 특성에 따라 샘플의 내부 영역을 볼 수 있다는 전제 하에 시간 영역 상 5포인트 간격으로 각 픽셀의 최고점 (MIP, Maximum Intensity Projection) 영상을 보상전과 후 각각 다섯 장을 제시하였다.



<그림 5> 전파 속도 보상 전 Tomography MIP 영상



<그림 6> 전파 속도 보상 후 Tomography MIP 영상

<그림 5>와 <그림 6>를 비교하였을 때 가지적으로도 속도차이를 보상해준 단층 영상이 해상도 측면에서 우월하다는 것을 확인할 수 있다.

3. 결 론

테라헤르츠파의 시간 영역 데이터로 단층 촬영하여 투과 영상을 얻을

수 있다는 것과, 진공과 매질상의 전파 속도 차이를 보상하여 더욱 정확한 단층 영상을 얻을 수 있음을 확인하였다.

4. 감사의 글

본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2009-0083512).

[참 고 문 헌]

[1] Daniel M.Mittleman, "T-ray tomography", OPTICS LETTERS, Vol. 22, 1997
 [2] S Wang and X-C Zhang, "Pulsed terahertz tomography", J. Phys. D: Appl.Phys.37 (2004)
 [3] 백문철 외 3명, "테라헤르츠 기술과 헬스 및 센싱", 전자통신동향분석 제22권 제5호 2007년 10월