

전자파를 이용한 목표물의 특성 분석에 관한 연구

이종길*

A Study on Analysis of Target Characteristics Using Electromagnetic Waves

Jonggil Lee*

Department of Information and Telecommunication Engineering, Incheon National University, Incheon
406-772, Korea

요 약

안테나에서 송출된 전자파 신호는 목표물로부터 반사되어져 수신된다. 이러한 반사 신호는 유전율 차이 등 목표물들의 물질 종류에 따라 서로 다른 특징들을 나타내게 된다. 따라서 이러한 반사 신호들의 특징들을 잘 활용하면 목표물들의 특성을 파악할 수 있다. 즉 위험 물질들의 분류 및 검사를 위하여 이러한 방법을 적용할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 실험을 통하여 획득한 이러한 반사파 신호들의 특징을 활용하여 상관성(correlation)을 도출함으로써 그 특성, 즉 위험 물질들을 판단할 수 있는 방법을 고찰하고자 한다. 이러한 상관성에 의한 판단 방법은 특정 목표물에 대한 기준 신호의 저장을 필요로 하지만 비교적 신뢰할 수 있는 결과들을 보여준다. 그러므로 이러한 수신신호들의 상관성을 이용한 방법을 적용한다면 위험물질들의 구별 및 분류 등에 폭 넓게 활용할 수 있을 것이다.

ABSTRACT

Electromagnetic wave signals radiated from an antenna are reflected by targets and received through the same antenna. These received signals show different characteristics according to various target materials having different dielectric constants. Therefore, target characteristics can be recognized if we can utilize these return signals efficiently. this method can be applied for discrimination and classification of hazardous materials. In this paper, utilizing these experimentally obtained signals, correlation characteristics are obtained and analyzed for classification and discrimination purposes. Although the correlation method requires the storage of reference signals, it shows very promising results. this correlation method can be applied for classification and discrimination of hazardous materials.

키워드 : 반사 신호, 상관성, 전자파 전파, 물질 분류

Key word : Return signal, Correlation, Propagation of electromagnetic waves, Material classification

Received 11 March 2015, Revised 02 April 2015, Accepted 15 April 2015

* Corresponding Author Jonggil Lee(E-mail:jnglee@incheon.ac.kr, Tel:+82-32-835-8286)

Department of Information and Telecommunication Engineering, Incheon National University, Incheon 406-772, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.6.1289>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

전자파를 이용한 무선 시스템은 최근에 와서 보안 및 산업용 센서로서의 활용성이 커지고 있으며 이외에도 다양한 응용분야에서의 연구가 진행되고 있다[1,2]. 특히 비교적 간단하게 송신파형을 구현할 수 있으며 저 전력, 초 광대역 특성을 갖는 UWB (Ultra Wide Band) 시스템의 활용이 활발히 모색되고 있다[3,4]. 본 논문에서는 이러한 초 광대역 송신 전자파의 목표물에서의 반사파를 활용한 물질의 특성 확인 및 분류를 위한 방법들을 고찰하고자 한다.

우선 이러한 물질들로부터 반사되는 전자파 신호들을 획득하기 위해서는 먼저 일반적으로 자주 사용되고 있는 송신파형에 대하여 고려하여 보아야 한다. UWB 안테나 입력 신호로 가장 널리 이용되어지고 있는 것은 Rayleigh 펄스 신호이다[5]. 이러한 펄스 신호의 지속 시간은 응용 목적에 따라 다소 달라질 수 있으나 허용되는 주파수 대역을 고려하여 발생시키게 된다. 이렇게 안테나에 입력된 송신 신호로부터 실제로 신호가 안테나로부터 방사되어 신호가 도달하는 수신 안테나에서의 신호 출력이 어떻게 나타나는지를 살펴보면 송수신 안테나의 특성, 즉 전달함수를 알아야만 한다. 이러한 전달 함수는 제작된 송수신용 안테나의 실제 특성에 따라 각각 달라진다. 따라서 본 논문에서는 물질의 특성 분류를 위한 수신 신호 분석을 목적으로 하고 있으므로 비교적 지향성이 높은 혼 안테나를 사용하고 신호구간이 약 300 ps 정도 지속되는 Rayleigh 펄스를 사용하였다.

이러한 UWB 신호는 안테나로부터 방사되어져 일정한 거리만큼 떨어져 있는 목표물, 즉 유리용기에 들어 있는 액체시료로부터 반사되는 반사파 신호들을 얻을 수 있다. 이러한 반사파 신호들은 액체의 시료 종류 및 특성에 따라서 서로 다른 특징을 보일 것으로 예상된다. 즉 이러한 임펄스 형태의 전자파 신호가 진행하면서 반사되는 과정에서 액체의 유전율 등의 특성에 따라 각각 반사되는 신호들의 특징이 달라질 수 있다. 여기서는 액체물질들을 대상으로 하여 이러한 반사파 신호들이 어떤 차이점들을 보이는지 분석하고 물질들을 판별할 수 있는 방법들을 고찰하여 보았다.

II. 송수신부 구성

혼 안테나로 입력되는 입력 송신 파형은 다음과 같이 표시되는 전형적인 일차 Rayleigh 펄스 신호를 사용하였다.

$$s(t) = \frac{-2(t-1)}{A^2} \exp\left(-\left(\frac{(t-1)}{A}\right)^2\right) \quad (1)$$

식(1)에서 A는 펄스 파라미터로 UWB 대역폭 규정에 따른 펄스 신호의 지속시간을 결정할 수 있는 파라미터이다. 본 실험에서는 펄스의 지속 시간이 약 300 ps 정도가 되도록 A 값을 조정하였다.

송신 부를 구동하기 위한 이러한 펄스 신호와 실제로 안테나로부터 방사되어 수신되어지는 신호는 다소 달라진다. 이러한 과정은 송수신 안테나의 전달특성 즉 안테나의 주파수대역이나 이득 및 방사 특성 등에 따라 수신신호의 파형이 다르게 나타나게 된다. 이는 안테나의 주파수 영역 전달함수 특성이나 시간영역에서의 임펄스 응답 특성을 알거나 또는 측정 가능하다면 수신신호의 파형 특성을 파악할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 동일한 송수신부 및 안테나를 사용하여 액체물질을 구별하는 것을 목적으로 함으로 추가적인 전달함수의 정보를 얻기 보다는 액체의 시료종류에 따른 수신신호의 특징들을 구별하는 것에 주안점을 두었다.

따라서 송신 및 수신용 혼 안테나를 일정한 거리만큼 이격시켜 설치한 후 물체로부터 반사되는 수신신호를 획득하였다. 그림 1에 구조를 간략하게 나타내었다.

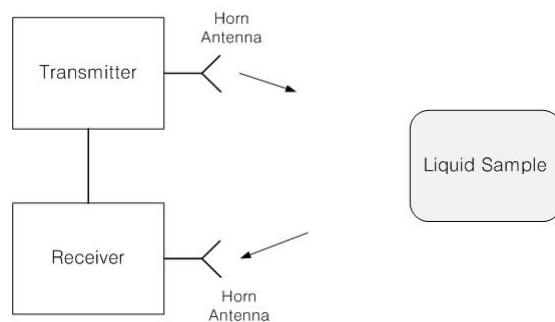


그림 1. 혼안테나를 이용한 송수신단 블록도
Fig. 1 The transceiver block diagram with a horn antenna

III. 반사 신호의 특성

앞장에서 설명한 바와 같이 액체 시료로부터 반사되는 전자파 신호의 크기를 획득하기 위해서 수신단의 샘플링 주파수는 36 GHz 로 설정하였다. 지연시간 t , 즉 거리에 따른 샘플링이 매우 높게 이루어지고 있어서 c 를 전자파의 전파속도라고 한다면 거리 해상도는 $ct/2$ 로 표시된다. 그러나 식 (1)에서 나타낸 바와 같이 송신 파형의 지속시간은 약 300 ps 정도가 된다. 따라서 거리 해상도는 약 4.5 cm 정도이다. 송신파형의 지속시간이 매우 짧으면 거리 해상도를 높일 수 있으나 구현하기가 어려울 뿐만 아니라 이러한 파형은 매우 넓은 대역을 점유하기 때문에 안테나의 대역폭이나 허용 방사 대역폭 등에 관한 사항도 고려되어야 하기 때문에 실제적으로 매우 짧은 지속 시간을 갖는 파형의 선택은 매우 제한적이다.

또한 UWB 펄스 송신에는 별도의 캐리어 신호를 사용하지 않는다. 따라서 안테나의 대역폭, 즉 전달특성에 따라 저주파 영역의 신호가 안테나에서 제대로 방사되지 않을 수 있다는 점을 염두에 두어야 한다.

본 연구에서는 1 GHz~18 GHz 정도의 주파수 대역을 가지는 2개의 혼 안테나를 각각 송신 및 수신 안테나를 일정한 거리만큼 이격시켜 설치 한 후 신호를 획득하였다. 이러한 시스템은 송신단의 누설전력이 수신 단으로 가지 않는다는 장점이 있으나 송신 안테나의 간섭전력이 수신되는 것을 완전히 억제 할 수 없을 뿐만 아니라 주변 환경에 의한 반사파가 존재하기 때문에 수신단에 어느 정도의 간섭전력이 수신된다고 보아야 할 것이다. 따라서 신호 획득 시 이러한 점들을 감안하여 사전에 송신 전력 또는 주변 환경에 의한 간섭신호 전력을 파악하는 것이 필요할 것이다. 즉 저장된 거리 영역에서의 간섭신호 전력을 차감함으로써 신호의 특성을 더 정확하게 파악할 수 있을 것이다.

이제 전자파가 용기에 담겨있는 액체시료로부터 반사되는 상황을 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 R_1, R_2 는 각 경계면에서의 반사계수를 나타내며 t_b 는 용기의 두께를 t_s 는 액체용기의 내부 폭을 각각 표시한다. 유전율이 달라지는 4개의 경계면에서 반사가 일어나게 되는데 자성물질이 아니라면 반사계수는 다음과 같이 표현된다[6].

$$R_1 = -\frac{\sqrt{\epsilon_b} - \sqrt{\epsilon_0}}{\sqrt{\epsilon_b} + \sqrt{\epsilon_0}}, R_2 = -\frac{\sqrt{\epsilon_s} - \sqrt{\epsilon_b}}{\sqrt{\epsilon_s} + \sqrt{\epsilon_b}} \quad (2)$$

식(2)에서 $\epsilon_0, \epsilon_b, \epsilon_s$ 는 공기의 유전율 및 유리병의 유전율, 액체샘플의 복소 유전율을 각각 표시한다. 그러므로 이러한 유전율의 차이에 의하여 경계면에서 반사되는 정도, 즉 반사계수가 다르게 나타난다.

그런데 그림 2에서 보는 것처럼 실제로 유리병에 든 액체의 특성을 파악하고자 하는 경우 유리병의 두께나 액체시료가 담긴 정도, 즉 유리용기의 크기에 따라 다를 수는 있으나 일반적으로 물리적인 크기가 많이 크지 않다고 가정하면 반사 신호 획득 시 거리 해상도에 따른 신호의 간섭 또는 중첩현상이 발생할 수 있다. 또한 액체시료에 따라서 전자파가 급격히 감쇄하여 경계면에서의 반사 신호가 매우 작아질 수도 있으며 경우에 따라서는 내부에서의 다중반사 현상도 일어날 수 있다.

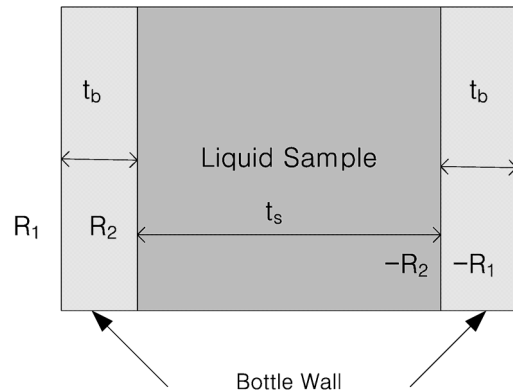


그림 2. 유리병에 든 액체 시료
Fig. 2 A liquid sample in a glass bottle

IV. 신호 획득 및 분석

앞장에서 언급한 바와 같이 반사 신호의 획득을 위하여 36 GHz 의 높은 샘플링 주파수를 사용하여 거리별 신호를 얻고 있지만 이에 대응하는 4.2 mm 정도의 거리 해상도를 가진다고 볼 수는 없다. 즉 송신파형의 신호 지속 시간이 약 300 ps 정도로 실제로 얻을 수 있는 해

상도는 4.5 cm 정도로 나타난다. 그러므로 샘플링에 의하여 얻어지는 거리별 반사 신호는 펄스 지속시간으로 인하여 중첩되어져 나타나게 된다. 따라서 전자파의 진행에 따라 나타나는 첫 번째 경계면과 두 번째 경계면, 즉 공기와 유리 용기, 유리용기와 액체시료사이의 경계에서 발생하는 두 가지 반사 신호들은 분리되기 어려우며 중첩되어져 나타날 것이다. 따라서 유리용기의 내부 폭이 4.5 cm 이하인 경우 신호의 분리 및 분석이 매우 어려울 수 있다. 유리용기에 따라 종류가 다양하기 때문에 용기의 폭도 크게 달라질 수 있다.

여기서는 가장 많이 사용되는 일반 음료수 용기를 사용하였다. 용량이 180 ml 정도 되는 폭 5 cm 의 유리용기에 액체를 넣어서 안테나로부터 약 58 cm 떨어진 곳에 두고 시험결과를 획득하였다. 이러한 시험결과를 분석하기 위하여 256 개의 거리별 샘플링 된 데이터를 수집하였다. 이러한 영역은 액체 시료에 의한 반사파 또는 클러터, 간섭 등에 의한 수신 전력이 의미 있게 나타나고 있는 거리 영역을 말하며 그 외의 거리 영역은 제외하였다.

이러한 수신 신호들은 측정 시 다소의 변동성이 존재할 수 있기 때문에 10번 측정한 후 그 평균값을 거리영역에 따른 반사 수신신호의 크기를 나타내는 값으로 결정하였다.

그림 3은 물과 가솔린이 담긴 액체시료의 반사 신호 차이를 나타낸다. 앞쪽 부분은 대부분 배경 또는 간섭에 의한 반사 신호의 크기로 거의 동일하게 나타난다는 것을 알 수 있다.

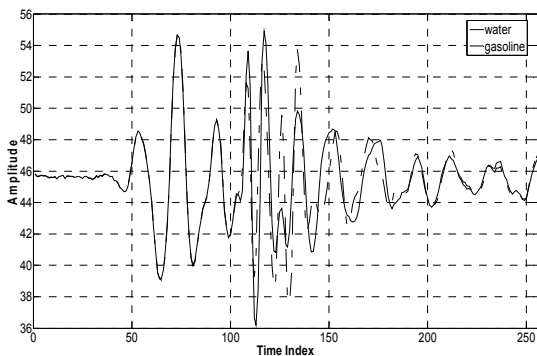


그림 3. 물과 가솔린 액체시료에 의한 반사 신호 크기 변화
Fig. 3 Variation in reflected signal amplitudes for water and gasoline liquid samples

그림 3에서 볼 수 있는 것처럼 배경 및 간섭에 의한 반사 신호가 원래의 액체시료에 의한 반사 신호를 왜곡 또는 오염 시킬 수 있으므로 저장된 이러한 신호들의 크기를 각 거리별로 차감함으로써 얻은 물과 가솔린 액체시료에 대한 반사 신호 크기의 변화를 그림 4에 나타내었다. 그림 4의 경우는 상대적인 크기를 보여주고 있으며 그림 3보다는 액체 시료에 따른 반사 신호의 특징들을 더 잘 나타내어준다. 같은 방법으로 아세트산, 톨루엔, 토마토 주스 용액이 담긴 액체시료에 의하여 수신된 반사 신호도 획득하였다.

그림 4에서 볼 수 있는 것처럼 액체시료의 종류에 따라 수신되어지는 반사 신호의 크기가 시간영역상에서 다르게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 이와 같은 현상의 주요한 원인은 그림 2에서 나타낸 바와 같이 액체시료의 유전율에 따라서 첫 번째, 두 번째 경계면에서의 전자파 반사정도가 달라지기 때문이다. 이러한 현상은 액체 시료 내에서의 전자파 감쇄 정도에 따라 다중 반사 현상이 생길수도 있으며 급격한 감쇄가 일어난다면 수신되는 반사 신호는 짧은 시간영역에서만 의미 있는 크기를 보일 것이다.

가솔린과 톨루엔의 경우나 물과 토마토 주스의 경우처럼 유전율이 비슷할 경우 신호의 특징이 매우 유사하게 나타난다. 그러므로 이러한 반사 신호의 크기 분석만으로 정확하게 액체의 종류를 파악하기는 매우 어려울 수 있다.

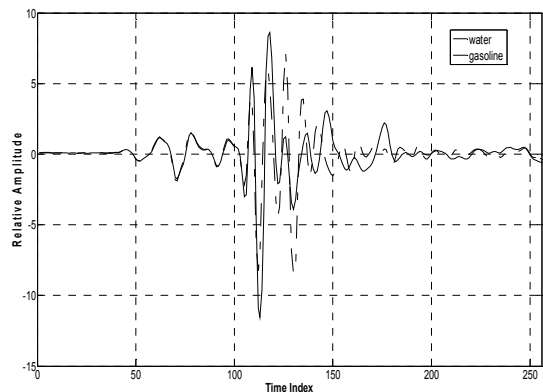


그림 4. 배경 및 간섭 차감 후 물과 가솔린 액체시료에 의한 반사 신호 크기 변화
Fig. 4 Variation in reflected signal amplitudes for water and gasoline liquid samples after removal of background and interference

그러나 액체의 그룹을 분류하여 위험 또는 비 위험 물질로 구별하는 것은 이와 같은 간단한 방법으로도 충분히 가능하리라 예상된다. 그림 5에 앞에서 설명한 데이터 획득 및 신호처리과정을 블록도로 간단히 나타내었다.



그림 5. 신호처리 블록도
Fig. 5 Block diagram of signal processing

그림 5에 표시한 상관성 계산은 다음과 같은 방법을 사용하였다[7].

$$\hat{R}_{xy}(m) = \begin{cases} \frac{1}{N-|m|} \sum_{n=0}^{N-m-1} x_{n+m} y_n^* & m \geq 0 \\ \hat{R}_{yx}^*(-m) & m < 0 \end{cases} \quad (3)$$

식 (4)에 보는 바와 같이 여기서는 편향되지 않은 (unbiased) 자기 상관성 (autocorrelation) 및 교차 상관성 (cross-correlation) 함수들을 추정하여 그 특징들을 살펴보았다. 상관성은 시간지연 인덱스 (time lag index), m에 대하여 다음과 같이 나타내었다.

$$C(m) = R_{xy}(m - N), m = 1, \dots, 2N - 1 \quad (4)$$

이제 액체시료가 물인 경우의 저장된 기준 신호를 이용하여 다른 액체 시료들 및 물과의 교차 상관성 및 자기 상관성을 구하여 그림 6에서 그림 9까지 나타내었다.

그림 6에서의 상관성 그래프를 보면 그 값의 최대 크기가 상대적으로 작고 유사한 여러 개의 피크가 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 반면 그림 7의 경우에는 최대 피크점이 한 곳에서 나타나고 다른 유사한 피크점이 나타나지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 그림들에서 보는 것처럼 물에 대한 기준 신호를 이용하여 상관성을 계산함으로써 가솔린과 물이 담긴 액체 시료를 분별하는 것이 가능할 것이다.

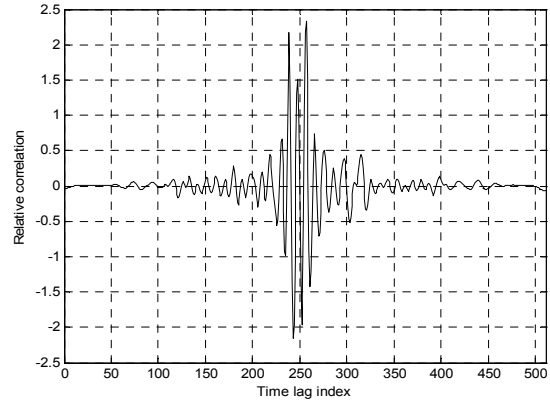


그림 6. 기준 신호인 물과 가솔린 액체시료 반사에 의한 수신 신호와의 상관성

Fig. 6 Correlation between the water reference signal and the return signal of a gasoline sample

이제 톨루엔 및 아세톤에 대한 상관성 정도를 나타낸 그림 8과 그림 9에 대한 특징을 고찰하였다. 그림 8과 그림 9에서의 상관성 정도를 나타낸 그래프를 살펴보면 톨루엔은 가솔린과 아세톤은 물과 각각 다소 유사한 상관성을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 그림 8에서 보는 것처럼 상관성 피크 값들이 그림 6에 비하여 다소 낮게 나타나는 점들이 있다는 것을 알 수 있다. 또한 그림 9는 그림 7과 유사한 형태이나 최대 피크치의 주변 피크 값들이 다소 높게 형성되는 특징을 보이고 있으므로 물이 든 액체시료는 구별이 가능하다.

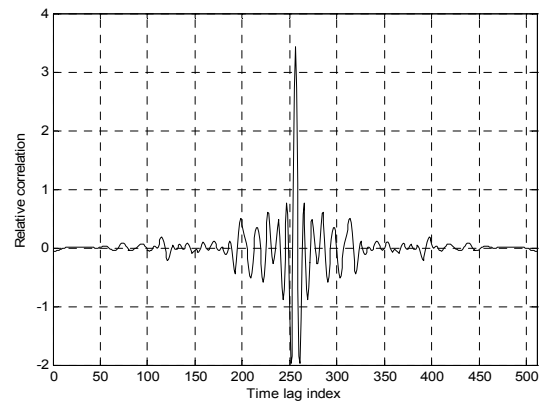


그림 7. 기준 신호인 물과 물이 담긴 액체시료 반사에 의한 수신 신호와의 상관성

Fig. 7 Correlation between the water reference signal and the return signal of a water sample

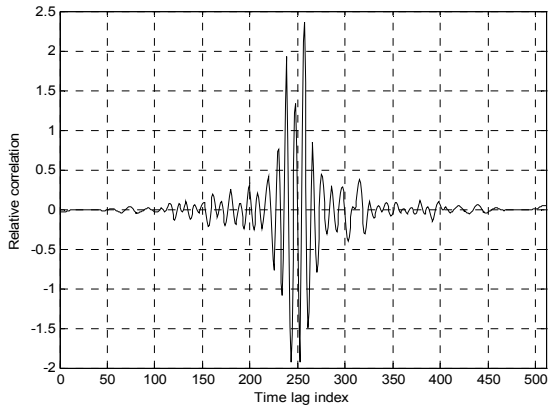


그림 8. 기준 신호인 물과 톨루엔 액체시료 반사에 의한 수신 신호와의 상관성
Fig. 8 Correlation between the water reference signal and the return signal of a toluene sample

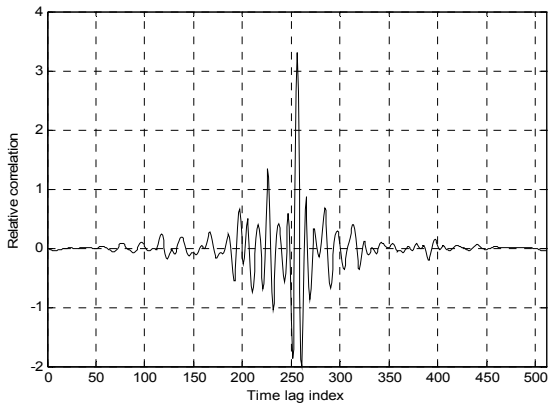


그림 9. 기준 신호인 물과 아세톤 액체시료 반사에 의한 수신 신호와의 상관성
Fig. 9 Correlation between the water reference signal and the return signal of an acetone sample

따라서 이와 같이 물질들 중 위험성 있는 액체로 분류되는 톨루엔, 가솔린, 아세톤 등의 구별이 명확하게 이루어지는 것이 바람직하나 물을 기준신호로 하였을 때 간섭, 잡음 등 수신신호의 왜곡 가능성 때문에 구별이 어려울 경우도 발생할 수 있을 것이다. 이러한 상황을 고려한다면 다른 액체시료의 반사파들도 기준신호로 저장하여 활용한다면 특정 액체 시료들을 명확히 구별하기가 더욱 용이하리라 판단된다. 즉 가솔린, 아세톤, 톨루엔 액체시료의 기준신호에 대한 자기상관 함수

는 다른 상관성 그래프와는 다르게 피크 점들의 특징을 뚜렷하게 구별할 수 있기 때문이다.

그러므로 앞의 결과 그림들에서 설명한 바와 같이 물을 기준신호로 하여 액체 시료들의 특징을 분류하는 것이 어느 정도 가능하다. 전자파 신호의 반사 및 전파 특성이 액체의 유전율에 직접적인 상관성을 보이기 때문에 유전율이 상당한 차이를 보이는 액체 시료들 간에는 비교적 구분이 용이하다고 할 수 있다. 더 명확한 구분을 위해서는 하나의 기준신호만 사용하지 말고 액체 시료로부터 얻을 수 있는 여러 개의 기준신호들을 이용하여 상관성 그래프들의 특징을 분석하는 것이 필요할 수 있다.

그러나 토마토 주스 같은 액체 시료의 경우 물과 거의 동일한 반사 신호 특성을 보이기 때문에 액체시료의 투과신호 등 다른 추가적인 정보의 획득 없이는 두 물질을 구별하는 것은 매우 어렵다. 하지만 폭발성이 있는 위험 액체물질들을 구별하고 분류하는 등의 목적으로 제안된 방법을 사용한다면 전자파의 반사 수신 신호 획득만으로도 충분히 가능할 것으로 판단된다.

V. 결론

본 논문에서는 폭발성이 있는 위험 액체물질들을 구별하기 위하여 비교적 간단히 구성할 수 있는 초 광대역 레이더 센서를 활용하여 액체의 종류에 따른 전자파 반사 신호들의 특징을 분석하였다.

결과 그림들에서 확인할 수 있는 것처럼 각 액체물질들의 기준 신호들을 저장한 뒤 이러한 신호들을 활용하여 각 액체 시료들로부터 반사되는 수신신호와의 상관성 정도를 구하여 그 특성을 파악함으로써 위험 액체물질의 분류가 가능하다는 것을 알 수 있다. 그러므로 본 논문에서 제안한 방법을 활용한다면 액체물질들의 위험성 정도 등을 분류하기 위한 목적으로 효과적으로 활용될 수 있을 것이다. 그러나 앞장에서 언급한 바와 같이 유전율이 유사한 경우, 즉 물과 토마토 주스 등의 경우에는 비 위험물질들로 크게 분류하는 것은 가능하나 구체적인 액체물질의 판별은 매우 어렵다. 따라서 이러한 경우에는 액체시료를 투과한 전자파 신호의 특징을 추가적으로 획득하여 분석하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Incheon National University Research Grant in 2014

REFERENCES

- [1] K. Pourvoyeur et al., "Ramp sequence analysis to resolve multi target scenarios for a 77-GHz FMCW radar sensor," *Proceedings of 11th International Conference on Information Fusion*, page 1-7, June 2008.
- [2] G. L. Charvat and L. C. Kempel, "Synthetic aperture radar imaging using a unique approach to frequency-modulated continuous-wave radar design," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 48, no. 1, pp. 171-177, 2006.
- [3] R. M. Narayanan et al., "Radar penetration imaging using ultra-wideband random noise waveforms," *IEE Proc.-Radar, Sonar, Navigation*, vol. 151, no. 3, pp. 143-148, 2004.
- [4] I. Immoreev and T-H. Tao, "UWB radar for patient monitoring," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 23, no. 11, pp. 11-18, 2008.
- [5] B. Allen et al., *Ultra-wideband antennas and propagation for communications, radar and imaging*, John Wiley & Sons Ltd., England, 2007.
- [6] U. C. Hasar, "A fast and accurate amplitude-only transmission-reflection method for complex permittivity determination of lossy materials," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 56, no. 9, pp. 2129-2135, 2008.
- [7] S. J. Orfanidis, *Optimum signal processing, An introduction*, 2nd Edition, Prentice-Hall, NJ, 1996.



이종길(Jonggil Lee)

1990년 5월 미국 Clemson University, Electrical Eng. (Ph.D.)
1991년 1월 ~ 1993년 2월 삼성전자 특수연구소
1993년 3월 ~ 현재 인천대학교 정보통신공학과 교수
※관심분야: 무선통신, 레이더 신호처리, 레이더 시스템