테라헤르츠파 영상기술을 이용한 연질 식품이물 검출기술

연질성 식품이물 검출의 필요성

식약처의 발표에 따르면 2010년 식품업체 이물보고 의무화 제도 도입 이후, 민관 합동으로 이물혼입 방지를 위해 노력한 결과, 2011년 7,491건에서 2016년 5,332건으로 해마다 감소세를 보이지만, 여전히 식품 이물 사고는 지속되고 있다. 신고된 이물 가운데 이물 종류별로는 매년 벌레가 34%이상을 차지하고, 차례로 곰팡이, 금속, 플라스틱, 유리 순으로 나타나고 있다 [1]. 물론 이물 혼입 원인별로는 소비유통 단계 (28%)가 제조단계 (13%) 보다 많은 것으로 나타나 유통단계에서 식품이물을 근절하는 기술을 근본적으로 개선하는 것도 시급한 문제이지만, 여전히 제조단계에서 발생하는 연질이물은 그림 1과 같이 현재의 X선 탐사기 및 금속검출기 등으로는 검출이 어려운 것으로 알려져 있다. 따라서 기존기술로 검출이 어려운 연질이물까지도 검출할 수 있는 기술개발에 대한 요구는 식품제조현장에서 최근 급격하게 증가하고 있다. 더구나 잦은 식품 이물질 혼입사고 발생으로 위해물질이 아닌 동일 식품기반 이물질의 혼입으로도 소비자들의 불안감이 증폭되고 있는 실정을 고려하면, 수확 후 선별 및 가공식품의 제조 공정상 외면적인 품질(표면 반사)뿐만 아니라 비파괴 투과를 통한 원료 및 가공식품의 내부 구조의 품질까지도 검사할 수 있는 고속 연질이물 탐지기술개발이 보장되어야 전방위적 식품의 품질과 안전이 관리될 수 있다.

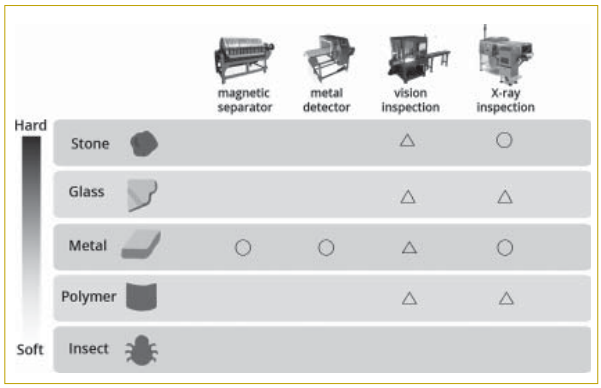

그림 1. 기존 식품이물 검사기법과 이물 검출 성능 비교
(○:우수, △: 보통, 무표시: 불능)

식품과 생체에 안전한 테라헤르츠파 검사기술과 식품분야 응용

테라헤르츠파는 0.1 ~ 10 THz (30 ~ 3000 μm, 0.4 ~ 40 meV)의 주파수를 갖는 밀리미터파와 원적외선 영역 사이의 전자기파영역으로 통신, 교통, 군사, 보안, 의료, 의학, 농업 · 식품, 환경계측 분야의 다양한 분야로 응용이 가능한 전자기파 대역이다 [2]. 특히, 테라헤르츠파는 종이, 플라스틱, 나무, 세라믹, 벌레 등 밀도에 상관없이 물질 침투가 가능하며 생체나 식품에 안전한 비이온화 전자기파로 최근 다양한 분야에서 응용연구가 이루어지고 있다.

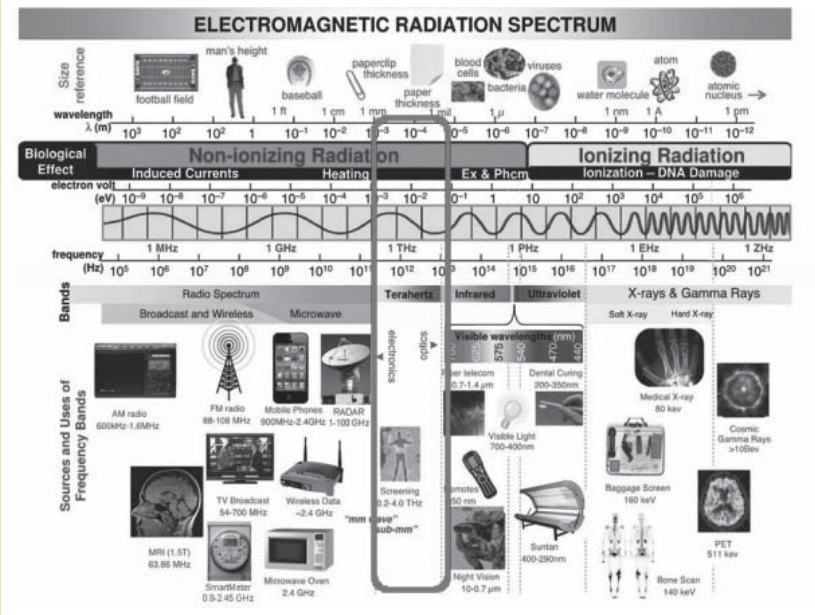

그림 2. 전자기파 스펙트럼과 응용 분야 [3]

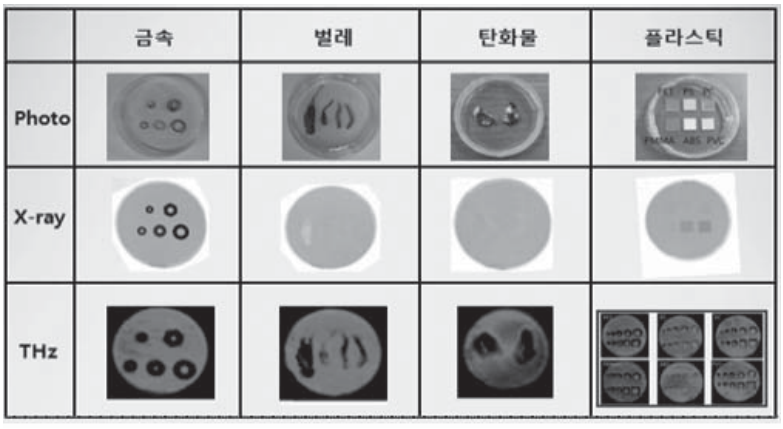

그림 3. X-ray 와 테라헤르츠파로 측정한 여러 식품이물에 대한 투과영상.
여기에서 금속, 벌레, 탄화물, 플라스틱은 식품이물로써 1cm의 두께를 갖는 분유 안에 은닉되어 측정되었음.

이러한 테라헤르츠파 응용기술 가운데 식품 분야에 적용할 수 있는 기술은 크게 테라헤르츠파 영상기술 (Imaging)과 테라헤르츠파 분광기술 (Spectroscopy)로 나뉠 수 있다 [2]. 테라헤르츠파 영상기술은 주로 비파괴 검사 에 활용되는 기술로서 기존의 X-ray에 비해서는 안전하고 X-ray가 검출할 수 없는 벌레나 플라스틱과 같은 연질 유기물질을 검출할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그리고 테라헤르츠파 분광기술은 분자 진동에 근거한 물질 고유의 분광 지문을 이용하여 은닉된 위험물질을 비파괴적으로 분석을 수행하여 정성적으로 확인할 수 있는 장점을 가지고 있다. 다음 그림 3은 금속, 벌레, 탄화물, 플라스틱과 같은 대표적인 식품이물을 1cm두께의 Petri dish안에 고정하고 1cm 두께의 분유 안에 은닉한 것으로, 각각 X-ray와 테라헤르츠파를 이용하여 투과영상을 획득한 것이다. 그림에서 보듯이 기존 X-ray 투과 검사결과는 금속 이물 시료의 경우에는 테라헤르츠파 영상보다 좋은 분해능을 보이고 있지만,

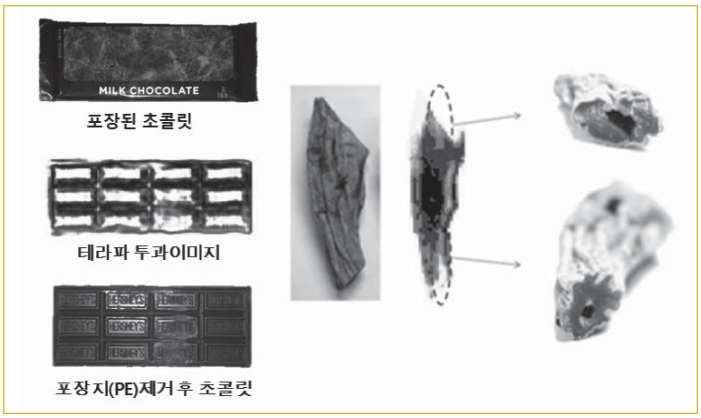

그림 4. 테라헤르츠파 투과영상으로 측정한 (좌)초콜릿 품질 검사 결과, (우) 홍삼 내부 기공 검사 결과

벌레와 탄화물, 플라스틱의 경우는 검출이 어려운 문제가 있다. 하지만 테라헤르츠파의 경우는 모든 식품이물 시료에 대해 분유를 투과하여 검출할 수 있다는 것을 보여주고 있다 [4].

이처럼 기존 X-ray투과기술이 할 수 없었던 테라헤르츠파 영상기술의 연질 이물 검출능력을 바탕으로 산업계에서 요구하는 식품이물 검출 장치 혹은 식품품질 검사장치를 개발하기 위해서는 우선적으로 생산라인에 적합한 영상검출속도, 1mm정도 크기의 이물까지 검출이 가능한 영상분해능, 장치 가격 등이 고려되어야한다. 이러한 요구조건을 맞추기 위해 국내외에서 현재 연구개발이 진행 중에 있으며, 한 실례로 테라헤르츠파 카메라 대신 Confocal microscope와 유사한 고속 빔 스캐닝 기반의 영상검출장치의 경우 실제 식품을 측정한 결과는 그림 4와 같다 [5]. 포장지를 뜯지 않고 측정한 초콜릿시료의 테라헤르츠파 투과영상을 보면 초콜릿 일부가 열에 의해 벽들이 무너져있는 것을 볼 수 있으며 포장지를 제거 후 확인한 결과와 일치하는 것을 볼 수 있다. 이 영상은 거의 1.5초안에 측정된 영상으로 현재 국내 한 기업에 기술이 이전되어 양산용 시스템을 개발하고 있다. 초콜릿뿐만 아니라 홍삼의 경우도 홍삼 내부 기공의 크기에 따라 투과 강도가 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

해결해야할 기술적 한계와 향후 전망

이상과 같이 테라헤르츠파 영상 기술은 기존 X-ray투과 장치가 찾아내지 못하는 벌레와 플라스틱 같은 연질이물을 찾아내는 우수한 특성이 있다. 더구나 X-ray와 달리 비이온화 전자기파로 식품이나 인체에 안전하다. 그러나 테라헤르츠파는 다른 전자기파 대역에 비해 수분에 대해 강한 흡수피크를 가져서 고수분 식품에 대해서는 현저히 투과도가 떨어지고 특히 금속물질은 아예 투과하지 못하는 본질적인 단점이 있다. 기술적으로는 테라헤르츠파 산란효과 때문에 투과 영상에 있어서 산란이 심한 영역, 즉 표면구조나 내부조성이 불균일 (non-homogeneous)한 경우는 산란에 의해 식품이물과 원래의 식품재료사이에 구분이 어려울 수 있다. 따라서 초콜릿, 김, 비스킷류 등과 같이 외형이 규칙적이고 일정한 경우에는 영상비교 학습을 통해 쉽게 이물을 검출할 수 있지만, 복잡하고 random한 조성이나 구조를 갖는 경우는 영상인식에서 어려운 문제가 생길 수 있다. 더구나 고분해능 영상을 얻기 위해서는 고주파수 광원을 사용하여야하는데 주

파수가 커질수록 가격이 매우 고가인 문제가 있다. 그러나, 마이크로파 가열장치가 처음 출시될 때만 하더라도 일반인은 접근조차 할 수 없는 가격이었지만, 지금은 누구나 손쉽게 구할 수 있는 것처럼, 광원의 가격의 문제는 기술의 발전과 시장의 성장으로 지금도 빠른 속도로 개선이 되고 있다. 또한 불균일한 매질을 갖는 식품의 투과영상검출의 경우도 투과기법 외에 여러 각도에서 측정하는 후방 산란기법들과 결합하고 인공지능 기법(Artificial Intelligence)을 도입한 영상처리 기법을 활용한 연구가 진행 중이어서 영상성능이 한층 개선되리라 예상되고 있다. 이러한 일부 문제점들만 해결되면 빠른 시일 안에 X-ray장치와 와 더불어 테라헤르츠파 영상장치는 식품제조 현장에서 손쉽게 찾아볼 수 있는 검사장치가 될 것으로 기대되며 식품 이물사고를 예방하는 핵심적인 수단이 될 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. 2016년 식품 이물 신고 원인조사 분석결과, 식품의약품 안전처 보도자료 (2016).
2. A. A. Gowen, C. O'Sullivan, C. P. O'Donnell, "Terahertz time domain spectroscopy and imaging: emerging techniques for food process monitoring and quality control," Trends Food Sci. Technol. 25, 40-46 (2012).
3. https://github.com/golanlevin/ExperimentalCapture/blob/master/docs/hyperspectral.md.
4. G. Ok, H. J. Kim, H. S. Chun, S. W. Choi, "Foreign-body detection in dry food using continuous sub-terahertz wave imaging," Food Control 42, 284 - 289 (2014).
5. G. Ok, K. Park, H. S. Chun, H. J. Chang, N. Lee, S. W. Choi, "High-performance sub-terahertz transmission imaging system for food inspection," Biomed. Opt. Express 6, 1929 - 1941 (2015).

옥경식, 최성욱*
한국식품연구원 식품안전연구단
swchoi@kfri.re.kr