

RFID용 전도성 잉크

김태현

1. 차세대 인식기술로서의 RFID^{1,2}

RFID(radio frequency identification : 전파식별) 시스템은 무선 주파수를 이용해 사물이나 사람에 부착된 태그(tag)를 인식하여 태그에 담긴 정보를 주고 받을 수 있도록 하는 비접촉식 정보인식 기술이다. 현재 정보인식 기술로 대중화된 방식은 바코드(bar code)와 마그네틱 카드(magnetic card)이다. 저렴한 단가에도 불구하고 바코드는 물에 젖거나 오염 물질이 묻어 바코드가 손상되면 정보를 제대로 전달할 수 없다. 뿐만 아니라, 바코드와 마그네틱 카드 모두 아주 가까운 거리에서 접촉을 시켜야 정보가 인식된다는 단점을 안고 있다. 반면 RFID는 전파를 이용해 다양한 정보를 전달하기 때문에 이런 한계로부터 자유롭다. 게다가 바코드가 일직선상에서만, 또 한번에 하나씩의 매우 제한된 용량의 데이터만 인식할 수 있는 반면, RFID는 동시에 여러 개의 대용량의 정보를, 상당히 먼 거리에서도 인식하고 기록, 저장할 수 있다(그림 1). 이러한 장점에도 불구하고 고가라는 단점이 RFID의 대중화에 걸림돌이 되고 있는 실정이다. RFID 시스템은 기본적으로 태그와 리더기(reader) 그리고 서버(server)와 미들웨어(middleware) 등으로 구성된다. 태그에는 고유 ID와 정보를 담은 초소형 IC(직접회로), 안테나 및 배터리 [배터리가 없는 것도 있으며, 전원으로서 배터리가 들어가는 것을 능동형 태그(active tag)라 하고 배터리 없이 리더기의 전파 신호로부터 에너지를 공급 받아 작동하는 것을 수동형 태그(passive tag)라고 함] 등이 들어있으며 리더기는 태그로부터 데이터를 수신하여 호스트 컴퓨터로 전송하는 역할을 하며, 서버는 태그와 리더 사이에 교환되는 정보를 받아들이는 역할을, 미들웨어는 이 정보를 서버와 네트워크로 전달해주는 역할을 한다. 이 중 RFID의 상용화에 결정적인 역할을 하는 것이 바로 태그이며 그 중에서도 안테나 역할을 하는 전도성 잉크 부분이다. 본 총설에서는 RFID의 태그에 쓰이고 있는 전도성 잉크의 구성과 제반특성 및 전도도 측정 방법 그리고 보다 가격 경쟁력이 있는 RFID용 전도성 잉크의 개발을 위한 주요 요소와 시장 동향 등에 대해 소개하고자 한다.

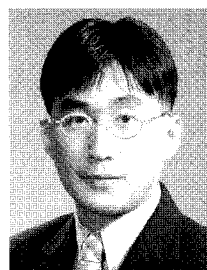
2. RFID용 전도성 잉크의 구성 요소 및 특성³⁻⁷

2.1 전도성 잉크의 구성 요소

전기 회로를 완성하기 위해서는 전압원(voltage source)과 기기(device)를 연결하는 전도 통로(conductive path)가 반드시 필요하며 일반적인 회로에서는 구리와 같은 고체 금속을 이용하여 전도 통로를 만들게 되나, 멤브레인 스위치(membrane switch)나 터치 스크린(touch screen)과 같이 전도성 층(conductive layer)을 기질(substrate) 위에 입히는 첨가 회로(additive circuit)의 경우에는 전도 통로 역할로서 고분자를 바탕으로 하는 전도성 잉크(conductive ink)가 널리 사용되고 있다. 이와 같은 고분자성 전도성 잉크를 이용하여 고체 금속에 비해 포장 크기나 두께가 현저히 줄어들 뿐 아니라, 낮은 온도에서 접합이 가능하며 가공성 또한 우수하게 된다. RFID용 태그의 안테나(antenna)는 이와 같이 전원과 칩 사이의 전도 통로 역할을 할 뿐 아니라, 리더와 태그 사이의 정보를 주고 받는 중요한 요소로서 그 조성은 크게 플라스틱 고분자 바인더(plastic polymer binder)와 전도성 충전제(conductive filler)로 이루어져 있다. 바인더는 전도성 충전제 입자들이 기질에 고정되도록 하는 역할을 하며 일반적으로 유기 용매에 잘 녹는 열가소성(thermoplastic) 고분자가 이용된다. 전도성 잉크에서 용매는 이러한 바인더를 녹여 전도성 충전제가 잘 섞이도록 하여 기질 위에 고르게 적용되도록 하는 역할을 한다. 일단 용매가 모두 날라가고 나면 열가소성 고분자인 바인더는 다시 고체 상태로 되어 버리기 때문에 용매를 바탕으로 하는 잉크용 바인더는 높은 온도나 특정 용매에 노출될 경우 문제점을 초래하기도 한다.

2.2 전도성 충전제(Conductive Filler)

RFID용 안테나와 같이 높은 전도도가 요구되는 전도성 잉크에는



김태현

1995 성균관대학교 화학과(졸업)
 1995~1997 성균관대학교 화학과(이학석사)
 1998~2001 University of Cambridge (이학박사)
 2001~2003 MIT, Postdoctoral Research Associate
 2003~2004 Eastman Chemical Company, Senior Research Associate, Conductive Ink Team Leader
 2004~현재 인천대학교 화학과 조교수

Conductive Inks for RFID Application

인천대학교 화학과(Tae-Hyun Kim, Department of Chemistry, University of Incheon, 177 Dohwa-dong, Nam-gu, Incheon 402-479, Korea) e-mail: tkim@incheon.ac.kr

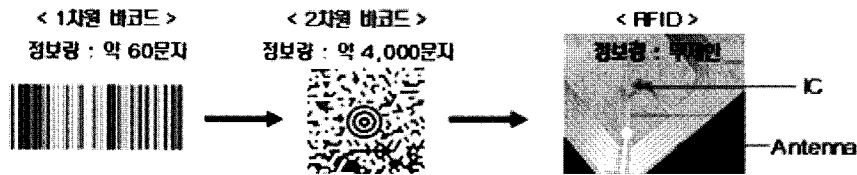


그림 1. 바코드와 RFID 시스템.

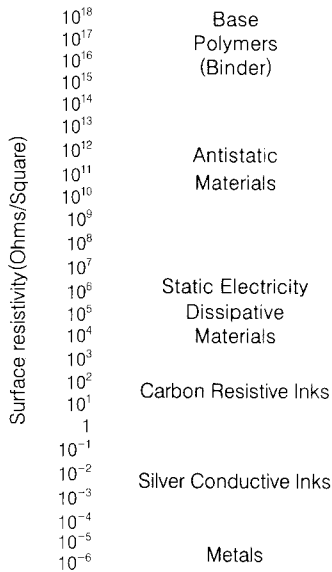


그림 2. 물질의 표면저항(surface resistivity) 스펙트럼.

일반적으로 전도성 충전제로서 금속 은(silver)을 사용한다. 은에 비해 낮은 단가를 갖는 구리(copper) 금속의 경우 역시 높은 전도도를 보이지만 시간이 지남에 따라 전도도가 급감하게 되는데 이는 공기나 수분 또는 다른 산화제 등에 노출될 경우 산화 구리(copper oxide)를 형성하기 때문이며 이로 인해 전도도가 감소하게 된다. 반면, 은이나 금의 경우에는 이러한 산화 금속의 형태 역시 여전히 높은 전도도를 가지게 된다.

일반적으로 고분자를 바탕으로 한 전도성 잉크는 금속 고체에 비해 매우 높은 저항을 갖게 되며, 이와 같이 절연체로부터 전도체에 이르기까지 다양한 물질들의 전도도 스펙트럼이 그림 2에 정리되어 있다. 전도성 잉크의 전도도가 순수한 금속에 비해 낮은 이유는 전도성 잉크 내에 있는 한 금속 입자에서 다른 금속 입자로 전자들의 이동이 있어야 하는데, 이때 엄청난 저항이 발생하기 때문이다. 비록 금속 입자들을 서로 밀착시켜 놓기는 하지만, 전자들이 입자들 사이의 틈을 가로질러야 하는 데서 생기는 저항은 금속 그 자체에 비하면 클 수밖에 없다. 이와 같이 전도성 잉크의 저항을 최소화하기 위해서는 금속 입자들간의 접촉면(contact area)을 최적화시켜야 한다. 즉, 그림 3에서 보듯이 구형(sphere-shaped)의 금속 입자를 사용하여 전도성 잉크를 만들 경우 이러한 구들은 서로 만나 접촉점(contact point)을 만드는데 반해, 평평한 플레이크 형태(flake-shaped)의 금속을 사용할 경우에는 훨씬 더 넓은 면적의 표면접촉면(surface contact area)이 생성되어 전자들이 흐를 수 있는 보다 많은 길을 만들게 되어 더 높은 전도도를 얻을 수 있다. 결국 전도성 잉크에서는 바코드에서처럼 낮은 가격의 탄소에 비해 값비싼 금속인 은을 이용하여야 하므로, 은의 함량을 최소화하되 금속들간의 최적의 배열을 이루어 최대의 전도도를 얻

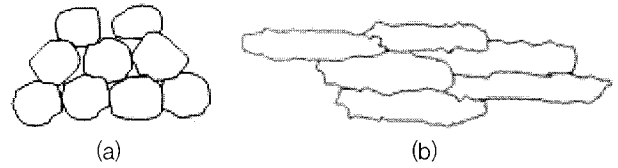


그림 3. 구형(sphere-shaped)과 플레이크 형태(flake-shaped) 금속 입자들 간의 접촉점(a)과 접촉면(b)의 생성 그림.

게 하는 것이 이와 같은 전도성 잉크의 개발의 성공 여부를 결정할 수 있다고 말할 수 있다.

2.3 퍼콜레이션 지점(Percolation Point)과 퍼콜레이션 곡선(Percolation Curve)

전도성 잉크를 제조하는데 있어서 고려하여 할 또 다른 주요한 사항 중 하나가 바로 퍼콜레이션 지점(percolation point)과 퍼콜레이션 곡선(percolation curve)이다. 언급한 바와 같이 고분자성 바인더 자체는 매우 낮은 전도도(또는 매우 높은 저항)를 갖는다. 여기에 은과 같은 전도성 충전제를 조금씩 넣으면 처음에는 전도도가 거의 변하지 않다가 보다 많은 양의 금속을 첨가해 금속 입자들이 서로 만나게 되면 전도도는 증가하기(또는 저항은 감소) 시작한다. 이때 바로 이 지점을 '퍼콜레이션 지점'이라고 하며, 퍼콜레이션 지점을 넘어서는 금속의 양을 조금만 증가하여도 잉크의 저항은 급속히 감소하게 된다.

이후 금속 충전제를 더 넣어주게 되면, 결국에는 저항 값이 일정해 지게 되며, 금속의 첨가량을 증가시켜도 더 이상 저항은 감소하지 않는다. 실제로 고분자 바인더에 비해 금속의 양이 지나치게 과량일 경우 고분자성 잉크는 기질에의 접착성이 감소할 뿐 아니라, 충전체인 금속 입자들의 효율적인 배열을 방해하여 전도성 잉크의 저항은 오히려 증가하게 된다. 따라서, 바람직한 전도성 잉크의 배합은 최적의 플레이크 형태의 전도성 금속 충전제를 사용하여 퍼콜레이션 그래프의 아래 부분(낮은 저항)에 해당하는 함량을 갖도록 하는 것이다. 이와 같이 잉크에 첨가된 전도성 충전제에 대한 저항의 감소 변화 그림을 '퍼콜레이션 곡선'이라고 한다(그림 4).

2.4 저항 측정법

전도성 잉크의 전도도를 조사하기 위해서는 그 저항값(resistivity)을 측정하며, 이는 다시 표면저항(surface resistivity or sheet resistivity)과 부피저항(volume resistivity)으로 나누게 된다. 표면저항은 쉽게 말해 전도성 물질의 맨 위층(top layer)의 저항을 측정하는 것으로, Membrane Switch Council of the SGIA에서 정한 ASTM F1896-98(American Society for Testing and Materials) 규격을 따르는 것이 일반적이며 그 방법은 다음과 같다(그림 5). 저항계에 연결된 두 전극(양극과 음극)을 전도성 잉크가 입혀진 기질 표면에 대어 나타나는 단위 평방(square)당 저항값을 읽는다. 여기서 주의하여야 할 것은 측정되는 부분은 표면의 돌출이나 끊어짐 없

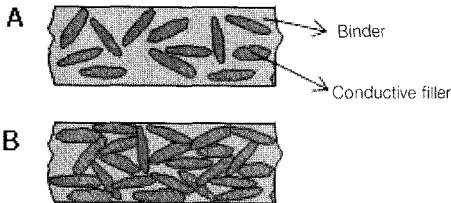
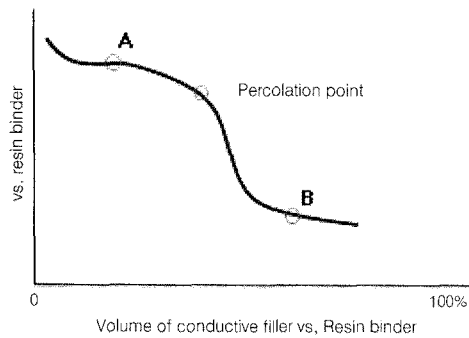


그림 4. 퍼콜레이션 지점(percolation point)과 퍼콜레이션 곡선(percolation curve)의 A와 B 지점에 해당하는 금속 충전제의 배열.

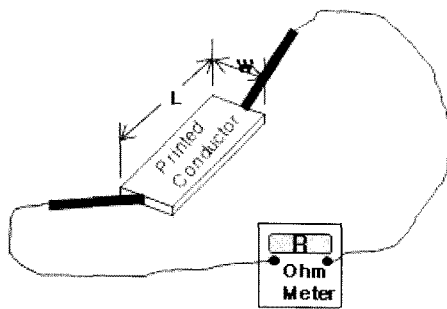


그림 5. 전도성 잉크의 표면저항(surface resistivity) 측정법.

이 균일하여야 하며, 그 길이(length: L)에 대한 넓이(width: W)의 비는 최소 50 : 1 이상이 되도록 한다. 즉, 50 평방(squares) 이상이 되도록 만들며, 측정 부위의 평방수가 증가할수록 보다 더 정확한 저항값을 얻을 수 있다. 표면저항 값은 우선, 길이(L)를 넓이(W)로 나누어 평방 수를 얻은 후, 측정된 저항값을 평방 수로 나누면 된다. 이때 단위는 Ohms/square로 나오게 되며, 이를 표면저항값이라고 한다.

이와 같은 표면저항 측정법의 문제점은 대개의 전자는 가장 짧은 길(path)을 따라 한 전극에서 다른 전극으로 이동하지만, 일부는 전도층의 단면(cross section)을 가로 질러 이동할 수도 있다는 점이며 이러한 현상은 특히 전도도가 높은 물질일수록 크게 일어난다. 이 경우 전자의 이동은 단지 표면에서만 일어나는 현상이 아니며, 따라서 그 부피에 대한 부분을 보정해 주어야 하고 이를 계산한 것을 부피저항(volume resistivity)이라고 한다. 그러나, 많은 경우 전도성 잉크의 전도도를 측정할 때는 측정하고자 하는 시료의 두께를 모두 균일하게 해주어 이러한 부피에 대한 영향을 최소화하여 그 표면저항값을 측정한다.

3. RFID 안테나용 전도성 잉크의 특성 및 개발 동향^{8,9}

3.1 RFID용 전도성 잉크의 특성

현재 판매되고 있는 RFID의 안테나에 쓰이는 전도성 잉크들은 대

략 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ Ohms/square 정도의 표면저항값을 갖는 것이 대부분이다. 전도성 잉크의 인쇄에 있어서는 초기의 스크린인쇄(screen printing) 기술로는 대량 생산이 어렵기 때문에 플렉소인쇄(flexographic printing)나 그라비아인쇄(gravure printing) 법을 주로 이용한다. 하지만, 인쇄 속도를 높일수록 일반적으로 잉크가 기질에 접촉하는 시간이 짧아 얇은 표면이 생성되어 표면 저항이 커지게 되므로 제작하려는 안테나 기판의 종류 및 안테나 선의 두께에 따라 다른 인쇄법을 사용하기도 한다.

3.2 RFID 안테나용 전도성 잉크의 충전제

RFID 안테나용 전도성 금속 충전제로는 대개 1~30 μm 정도 크기의 은이 사용되는데, 이는 1 μm 이하의 은의 경우 일반적으로 낮은 전도도를 보이게 되며, 반대로 30 μm 이상의 은을 이용하여 잉크를 제조할 때는 기질 위에 고르게 입히기가 쉽지 않기 때문이다. 사실상 높은 가격의 금속 은이 안테나의 가격(또는 태그의 가격)을 좌우할 정도로 전도성 잉크에서 충전제의 형태나 함량은 중요한 요소이므로 금속들 간의 최적의 배열을 이루어 최소의 은 함량으로 최대의 전도도를 얻게 하는 것이 많은 연구의 주요한 목표이다. 전도성 잉크의 경우 용매를 제외한 조성의 대략 70~80% 정도의 은 함량을 갖고 있으며 앞서 언급한 바와 같이 주로 플레이크 형태의 은을 이용하는 것이 대부분이다. 또한, 간혹 zinc stearate 등을 첨가제로 넣기도 하는데, 이는 주로 금속을 표면으로 밀어 올려 표면전도도를 극대화하는 역할을 하며, 이는 많은 경우 은을 포함한 금속 충전제들이 지방산(fatty acid)으로 표면 처리가 되어 있기 때문이다. 뿐만 아니라, hydroquinone을 전도도 촉진제(promoter)로서 첨가하여 전도도를 증가시키기도 한다.

은의 함량을 줄이기 위한 방법으로 플레이크와 알갱이(particle) 모양의 금속 은을 혼합한 바이모드(bimodal) 형태의 전도성 잉크들도 개발되었으며, 이는 작은 크기의 은 입자들이 플레이크 사이의 공간을 채워 전도 통로를 제공하는 역할을 한다(그림 6).

3.3 RFID 안테나용 전도성 잉크의 바인더

전도성 잉크 조성의 약 20~30%를 차지하는 것은 바인더와 각종 첨가제들이며, 이 중 바인더가 대부분을 차지한다. 고분자 바인더로는 poly(methyl methacrylate) (PMMA)가 주로 이용되고 있는데, 이는 무엇보다 낮은 가격이 가장 큰 이유이다. 하지만, 고분자의 점도나 소수성(hydrophobicity) 등도 바인더를 결정하는 주요한 성질이며 이에 따라 전도성 잉크의 전도도는 바인더의 종류에도 크게 의존한다. 예를 들어, 다음과 같이 동일한 플레이크 형태의 금속 은을 이용해 제조한 잉크의 경우에 poly(butyl methacrylate) (PBMA)를 바인더로 이용한 기질의 표면이 P(BMA-co-MMA)나 PMMA보다 더 균일함을 알 수 있다(표 1). 이는 PMMA에 비해 소수성이 큰 PBMA가 더 효과적으로 은 입자를 감싸서 보다 나은 기질 표면을 만드는 것으로 보인다. 반면, PBMA는 다른 두 바인더에 비해 매우 높은 표면저항을 나타내었는데, 이는 PBMA의 높은 점도로

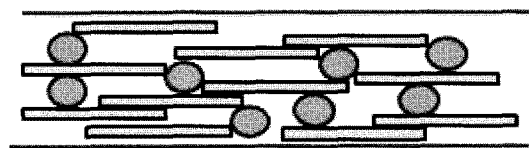
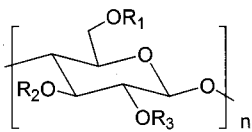


그림 6. 플레이크와 입자로 이루어진 바이모드 형태의 전도성 잉크의 전도 통로.

표 1. 플레이크 형태의 금속 은과 다양한 고분자 바인더를 methyl ethyl ketone (MEK) 용매 하에서 제조하여 얻은 전도성 잉크의 은 함량에 따른 표면저항. 다른 첨가제는 없으며 잉크의 농도는 72.4 wt%임. $^a(\text{wt}\%) = [\text{은}(\text{g}) / (\text{은}(\text{g}) + \text{바인더}(\text{g}))] \times 100\%$, $^b\text{wt}\% = [(\text{은}(\text{g}) + \text{바인더}(\text{g})) / (\text{은}(\text{g}) + \text{바인더}(\text{g}) + \text{용매}(\text{g}))] \times 100\%$

	PBMA	P(BMA-co-MMA)	PMMA	CAB 551-0.2	CAB 381-0.1	CAB 551-0.01
Silver $^a(\text{wt}\%)$	Resistivity (Ω/cm^2)	Resistivity (Ω/cm^2)	Resistivity (Ω/cm^2)	Resistivity (Ω/cm^2)	Resistivity (Ω/cm^2)	Resistivity (Ω/cm^2)
78	Poor Film	Poor Film	Poor Film	1.4×10^{-2}	1.0×10^{-2}	Poor Film
69	9.5×10^{-2}	Poor Film	Poor Film	3.2×10^{-2}	2.4×10^{-2}	2.2×10^{-2}
66	1.6×10^{-1}	Poor Film	Poor Film	5.0×10^{-2}	4.7×10^{-2}	2.6×10^{-2}
64	2.9×10^{-1}	3.8×10^{-2}	3.1×10^{-2}	7.2×10^{-2}	6.0×10^{-2}	3.1×10^{-2}
60	>1	6.5×10^{-2}	4.6×10^{-2}	1.7×10^{-1}	1.9×10^{-1}	4.1×10^{-2}
58		7.9×10^{-2}	4.8×10^{-2}	3.4×10^{-1}	4.0×10^{-1}	5.8×10^{-2}
56		1.1×10^{-1}	1.1×10^{-1}	> 1	> 1	7.8×10^{-2}
54		4.5×10^{-1}	2.2×10^{-1}			9.7×10^{-2}
52		>1	> 1			1.7×10^{-1}
50						3.8×10^{-1}
48						> 1



$R_1, R_2, R_3 = \text{Acetyl, Butyryl, or H}$

그림 7. CAB의 분자 구조.

인해 금속 입자들간의 최적의 배열을 어렵게 하기 때문이다. 이러한 바인더의 점도가 전도도에 미치는 영향은 잉크의 농도를 물게 할 경우, 같은 금속 은의 조성에서 표면저항이 급속히 감소하는 것으로 알 수 있다.

주목할 것은 같은 조건에서 cellulose acetate butyrate (CAB) (그림 7)가 바인더로서 PBMA나 PMMA 보다 나은 코팅성과 낮은 퍼콜레이션 지점을 나타내었다는 점이다. 이는 CAB의 낮은 점도와 적절한 소수성에 기인하는 것으로 보다 적은 양의 은을 충전제로서 사용하고도 PMMA에 비해 우수한 특성을 갖는 전도성 잉크 개발이 가능함을 의미한다.

3.4 RFID 안테나용 전도성 잉크의 개발

최적의 충전제와 바인더의 선택 및 배합만으로 RFID용 전도성 잉크의 개발이 성공적일 수는 없으며, 이는 전도성 잉크에 요구되는 다른 주요한 특성에 기인한다. 즉, 전도성 잉크가 여러 다양한 목적에 부합하는 기판 위에 적용이 되려면, 낮은 점도나 균일한 필름 상태 그리고 높은 전도도 외에도 유연성, 용매의 휘발 속도 등과 같은 다양한 성질들이 고루 만족되어야 하기 때문이다. 이러한 성질들의 개선을 위해서 전도성 잉크에는 대략 10여 가지의 다양한 첨가제들이 포함된다. 예를 들어, dibutyl phthalate나 benzyl butyl phthalate 등이 가소제(plasticizer)로서 전체 바인더의 약 5~10 wt% 정도 첨가되는데 이와 같은 가소제는 고분자 사슬을 분리시키는 역할을 하는 저분자량의 물질로 고분자의 유리전이온도(glass transition temperature)의 감소 및 제조된 필름의 강성도(stiffness)와 부서러짐성(brittleness) 등의 개선을 유도하는 역할을 한다. 또한, 가소제 외에도 분산제(dispersant) 역시 중요하며, 이는 금속 충전제를 적용면에 고르게 분산시키는 역할 외에 잉크의 점도 역시 낮추어 줄 수 있기 때문에 전도성 잉크의 조성에 반드시 필요한 요소 중의 하나

이다. 이와 같은 첨가제들은 필름의 특성을 개선하는 효과는 크지만, 대체로 전도도 면에서는 그리 좋은 결과를 나타내지 못하므로 첨가제의 종류와 첨가량은 적용되어야 할 기질의 표면, 잉크의 인쇄 기법, 요구되는 전도도 등에 따라 다르게 적용하는 것이 일반적이다.

전도성 잉크의 개발에서 고려되어야 할 마지막 요소가 바로 용매의 증발 속도이다. 앞서 언급한 바와 같이 전도성 잉크에서 용매는 단지 고분자 바인더를 녹여 전도성 충전제가 잘 섞이도록 하여 기질 위에 고르게 적용되도록 하는 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 하지만, 용매의 점도나 증발 속도가 전도성 잉크의 전도도에 미치는 영향은 매우 크며 실제로 용매가 최대한 빠른 시간 내에 증발하여 최대의 전도도를 얻게 하는 것 못지않게, 층밀림얇아지기효과(shear thinning effect) 역시 커야 한다. 즉, 낮은 층밀림(shear)에서는 높은 점도를 그리고 높은 층밀림에서는 반대로 낮은 점도를 갖도록 용매를 선택하여야 RFID의 안테나와 같은 빠른 인쇄 기법과 높은 전도도를 갖는 전도성 잉크에 사용될 수 있다.

3.5 전도성 잉크의 시장

RFID의 세계 시장은 2006년 33억 3000만 달러에서 매년 급속히 증가하고 있으며, 이에 따라 RFID용 전도성 잉크의 시장 규모 역시 매년 빠른 증가세를 보이고 있다. 90년대 이후 전도성 잉크 시장은 미국과 일본 기업들이 독점하고 있으며, 그 중 미국 기업으로는 DuPont이 50%의 점유율을 갖고, 이어 Acheson Colloids (20%), Chomerics (12%), Electro-Science Labs (5%) 등이 뒤따르고 있으며 Method Development, Metech, Sheldahl, Creative Materials, Englehard, Heraeus 등이 각 1% 안 밖의 시장 점유율을 보이는 형국이다(그림 8).

이미 2006년 이후 Wal-Mart를 비롯한 미국의 주요 할인점들에 납품되는 모든 물품들에 RFID 부착을 의무화하고 있으며, 이에 따라 RFID의 사용은 더욱 증가할 것으로 보인다(그림 9). RFID의 사용 확대 및 이에 따른 전도성 잉크의 생산 증대로 태그의 단가는 매년 빠르게 감소하고 있으나, 태그 당 1 센트(cent)에 못 미치는 바코드를 완전 대체하기 위해서는 현재 태그 당 3~5 센트에서 최소 1 센트 이하로 떨어져야 하는 과제를 안고 있다.

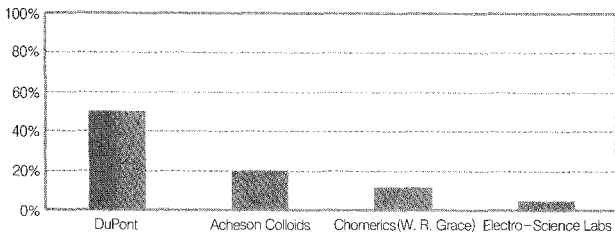


그림 8. 미국 기업의 RFID용 전도성 잉크의 시장 점유율(Eastman Chemical Co. 자체 시장 조사 보고).

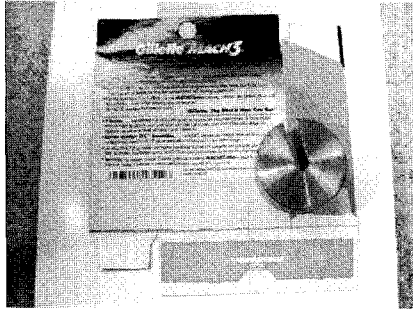


그림 9. Wal-Mart에 납품된 면도날 포장의 RFID 초기(2004년) 모델로 바코드와 혼용되어 출시됨.



그림 10. RFID의 다양한 활용 분야.

4. 결론

모든 사물에 태그를 부착해 네트워크망을 만들어 모든 정보를 관리한다는 이른바 UNS(ubiquitous sensor network) 시대를 열어줄 핵심 기술로 주목받고 있는 RFID의 상용화를 앞당기기 위해서는 앞에서 언급한 바와 같은 가격 외에도 주파수 배분 문제를 해결해야 하는 과제도 안고 있다. 즉, RFID는 주파수 대역에 따라 저주파(125~135 KHz), 고주파(13.56 MHz), 극초단파(433.92 MHz와 860~960 MHz) 그리고 마이크로파(2.45 GHz) 등의 네 종류로 나뉘게 되며, 이들 주파수는 각기 장단점과 고유의 작동 범위를 갖고 있다.

그림 10에서 보듯 유통과 물류 부분에서부터 범죄자 관리와 미야 방지에 이르기까지 RFID는 생활 전반에 걸쳐 무한한 활용 가능성을 갖고 있으며 이와 함께 일상생활 혁명을 열 날이 멀지 않았다. 높은 효율과 가격 경쟁력을 갖춘 전도성 잉크의 개발은 RFID의 핵심 부분으로 이러한 전도성 잉크 자체에 관한 연구 실적은 그리 크지 않은 상황이며, 따라서 이 분야에 대한 연구의 확대 필요성은 매우 크다고 할 수 있다.

참고문헌

1. N. Raza, V. Bradshaw, and M. Hague, *Application of RFID Technology-IEEE Colloquium on RFID Technology* (1999).
2. R. M. Hornby, *RFID Solutions for the Express Parcel and Airline Baggage Industry-IEEE Colloquium on RFID Technology* (1999).
3. W. Zoomer, *Screen Print*, **93**:9, 44 (2003).
4. C. Gentile, M. Wallace, T. Avalon, S. Goodman, R. Fuller, S. O. and T. Hall, US Patent 5,086,785 (1992).
5. J. Jurgens and P. Patterson, *Med. Eng. Phys.*, **19**, 1 (1997).
6. R. Sangoi, C. G. Smith, M. D. Seymour, J. N. Venkataraman, D. M. Clark, M. L. Kleper, and B. E. Kahn, *J. Disp. Sci. Tech.*, **25**, 513 (2004).
7. F. Higashi, C. S. Cho, H. Kakinoki, and O. Sumita, *J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed.*, **15**, 2303 (1977).
8. M. S. Buckley and R. E. Browns, US Patent 5,286,415 (1994).
9. T.-H. Kim, *J. Korean Chem. Soc.*, **51**, 171 (2007).