

거대자기저항 스핀밸브 소자를 이용한 음용수 미네랄 Mg 용해센서 특성 연구

이주희 · 김다운 · 김민지 · 박광서

강원과학기술대학교, 강원도 원주시 태장동 산101번지, 220-120

강준호

콜럼비아대학교 Rabi 과학 장학생 프로그램(물리학과), 뉴욕 브로드웨이 2960, USA

이상석*

상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과, 강원도 원주시 우산동, 220-702

(2008년 8월 29일 받음, 2008년 9월 10일 최종수정본 받음, 2008년 9월 10일 게재확정)

자장감응도가 약 0.8 %/Oe인 거대자기저항 스핀밸브(GMR-SV) 소자를 이용하여 두께 200 nm의 Mg-박막과 두께 50 μ m의 Mg-포일이 물속에서 녹는 Mg 용해도 측정 센서 시스템을 제작하였다. Mg-박막과 Mg-포일이 각각 용해할 때, 증가하는 저항으로 인한 전류 감소가 솔레노이드 내부의 자기장의 변화를 일으켜 GMR-SV 센서로 감지되었다. Mg이 음용수와 반응하여 발생하는 방울수와 산화환원전위(ORP)의 시간 변화율을 측정하여 일반 수도물과 증류수의 것과 비교하였다. 미네랄 Mg함량이 다른 3가지 물에서 Mg 용해속도가 큰 차이를 보였다. 또한 Mg-박막 일 경우, 출력신호의 자기저항 값이 최소 43.6 Ω 로 떨어졌으며 자기저항의 급격한 변화가 5분 이내에 나타났고, 그 변화율은 $\Delta R/\Delta t = 0.18 \Omega/\text{min}$ 이었다. Mg-포일 일 경우, 20분 이내에 0.3 Ω/min 이 었다. 음용수에 담긴 Mg-박막이나 Mg-포일의 용해시간과 용해속도를 측정하여 알칼리 환원수로 변환을 감지하는 미네랄 Mg 용해센서 개발이 가능할 것으로 사료된다.

주제어 : 거대자기저항 스핀밸브(GMR-SV), 마그네슘-박막, 마그네슘-포일, 미네랄 음용수, 산화환원전위(ORP)

I. 서 론

인체가 형성되는 최초의 시기인 수정란 때에는 99%가 물이다. 막 태어났을 때에는 90%, 완전히 성장하면 뼈 등 무기물이 증가하기 때문에 물이 차지하는 비율은 70%로 떨어진다. 그리고 노년으로 갈수록 물의 비율은 점차 낮아져 자연사에 의한 죽음 직전에는 거의 50~60%로 감소한다. 인간은 태어나서 죽을 때까지 거의 물의 상태로 살아가며 물이 몸 속에서 빠져나가기만 죽음을 맞게 되는데, 이는 물이 생명을 말해준다. 따라서 인체를 돌고 있는 물을 어떻게 다스리느냐에 따라 막 태어났을 때에는 90%, 성인의 경우에는 70%의 건강을 해결할 수 있다는 결론에 도달하게 된다[1, 2].

전기분해 알칼리수(water)는 비타민 C와 비타민 E 못지않게 활성산소를 없애는 능력이 뛰어나다. 암을 일으키는 활성산소는 스트레스 음주 흡연 공해 가공식품 등의 영향으로 발생, 인체의 지질세포를 공격함으로써 암이나 순환기 질환 등 퇴행성 질병을 일으키며 음식을 통해 체내에 공급되는 비타민 C, E에 의해 제거되는 것으로 알려져 있다. 전해 알칼리수에 녹아있는 용존산소량은 수도물과 별 차이가 없는 반면에(10 ppm \rightarrow 8-9 ppm), 분자수소 (H_2)량은 수도물에 비해

수백 배 증가하였다(2 ppb \rightarrow 400-500 ppb). 최근 발표된 논문에서 전해 알칼리수에 들어 있는 활성수소(수소원자)가 활성산소를 제거하는 역할을 한다고 보고하였다[3, 4]. 실제로 활성산소 제거 능력은 활성수소만을 선택적으로 흡착할 수 있는 삼산화 텅스텐을 넣어주었을 경우 사라졌다. 이것은 분자수소(H_2)가 아니라 분자수소와 평형을 이루는 활성수소($H\cdot$)에 의한 것임을 시사해주는 것이다. 또한 전해 알칼리수의 활성산소 제거능력은 매우 안정되어 4°C에서 1개월 이상 그 안정성이 지속되며, 폐쇄된 용기에서 고압 멸균하거나 주사기를 이용하여 필터로 반복해 통과시켜도 활성산소 제거능력이 전혀 떨어지지 않는다고 하였다. 하지만 원래 활성수소는 반응성이 뛰어나 수용액에서 산소와 쉽게 반응한다. 일반적인 조건에서 전해 알칼리수의 용존산소와 수소원자가 반응하지 않고 물속에 한 달 이상 안정적으로 존재하기 어렵다[5].

시중에서 볼 수 있는 알칼리수 제조 장치는 모두 직류전기를 이용해 물을 전기 분해하는 시스템이다. 하지만 그 외에도 알칼리수를 만드는 방법은 다양하다. 가장 간단한 방법은 무기물인 미네랄(mineral)을 이용하는 것이다. 이 방법은 매우 저렴하고 휴대가 가능할 뿐 아니라 음용수로서 좋은 맛을 내기도 쉽다. 자연계에는 물과 접촉하여, 물을 분해해 수소를 발생시키며 알칼리성으로 바꾸어주는 미네랄들이 있다. 수소보다 이온화 경향이 큰 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 리튬

*Tel: (033) 730-0415, E-mail: ssllee@sangji.ac.kr

(Li) 같은 미네랄들이 그것이다. 칼슘과 리튬의 경우는 물의 구조를 치밀하게 하는 좋은 성질이 있지만, 불행히도 물과 너무 결렬하게 반응하기 때문에 현실적으로 알칼리 수를 만드는 용도로 사용할 수 없다. 반면에 마그네슘은 물과 서서히 반응하기 때문에 알칼리 환원수로 사용이 가능하다[6].

한편, 고감도 나노 자기저항 소자는 식별기능의 정확성 및 제작과 분석의 편리성, 그리고 공학, 광학, 생화학, 생명과학의 센서용, 그리고 의학 진단용으로 그 활용도가 우수하다. 낮은 자기장 하에서 높은 신호/잡음비(S/N) 출력신호 및 다양한 고감도 자기저항 특성을 나타내며 미세 크기형태로 고 집적화된 생체분자 칩으로 상용화가 가능하다[7, 8]. 미세크기의 소자가 제작 되어 그 특성의 재현성이 확보된다면 바이오센서 소자로 활용되는 미래 나노바이오 기술산업, 생명공학 미래 기술산업 및 국민건강 의료 산업발달의 총아로서 자리 잡을 것이다. 국가의 선진산업 발전에 기여할 신소재 나노 바이오센서 기술 개발측면에서 매우 중요하다고 볼 수 있다. 이러한 연구에 따른 원천기술인 극 초미세 자기저항 박막소자 제조기술과 이미 축적된 반도체 칩 집적회로 기술의 기초연구 및 활용을 토대로 선진 과학기술국으로 발돋움하는데 일익을 담당할 것으로 보인다.

본 연구는 두께 200 nm의 Mg-박막과 두께 50 μm의 Mg-포일 foil이 물속에서 녹는 특성을 관찰하기 위해 GMR-SV 센서를 이용한 Mg용해 센서용 소자를 설계 제작하였다. 실제로 Mg이 미네랄 물 속에서 용해 될 때 활성산소를 제거하기 위해 수소를 만들며, 산화 환원력을 제공하는 염기 OH⁻는 과잉전자(electron)를 발생하게 된다. 이러한 관점에서 수백 nm에서 수십 μm 두께의 마그네슘 박막과 포일이 화학적 반응을 거쳐 서서히 용해 된다. 즉, Mg-박막과 Mg-포일이 용해되는 과정에서 박막과 포일을 통해 흐르는 미세한 전류 변화를 측정함으로써 미네랄 환원수의 기초 물성적 특징 중 하나인 미네랄 용해도 감지기능을 확인하였다.

II. 실험 방법

Fig. 1은 다층박막형 고감도 GMR-SV 소자를 이용한 미네랄 알칼리 환원수 센서 작동 시스템을 도시한 것이다. 이크릴 판재를 가공하여 20 cc의 물을 채울 수 있는 수조를 만들고 물 속에 넣은 구리봉을 전극 형태로 하여 폭 5 mm 길이 25 mm 슬라이드 글라스 위에 Mg-박막이나 Mg-포일을 중심부에 고정하여 접착용 구리 테이프(tape)로 감싼다. 시료 고정대에 올려 놓고 나사를 돌려서 박막과 포일이 Cu 두 전극면에 접촉되도록 하였다. 여기서 사용한 Mg-박막은 열증착 시스템에서 Mg-덩어리(bulk)를 가열할 때, 고온인 약 1,000 °C 근방에서 승화 증착된 박막을 그림자 마스크를 이용

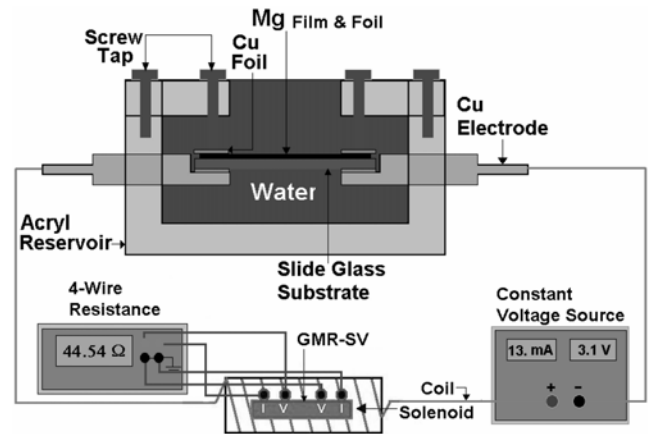


Fig. 1. Schematic of mineral alkali reducing water sensor system using a highly sensitive GMR-SV device with multilayer type. Two materials of dissolved Mg are the ribbon type of film and foil inside water, which a volume made of acryl reservoir is 20 cc. The electrical contact between electrode and Mg-material is used Cu tape. The measured data by 4-wire resistance and inside solenoid setting GMR-SV device are obtained using by constant source meter and voltage source.

하여 슬라이드 글라스에 폭 0.5 mm와 길이 25 mm인 스트립(strip)을 형성하였다. 시료 기판 옆에 놓인 고유진동수 6 MHz의 수정 발진자(quartz crystal oscillator)를 이용하여 주파수 변화량을 환산하여 증착된 Mg-박막 두께 200 nm를 확인하였다. Mg-포일은 제조사 iNexus 회사의 순도 99.9%인 모델 Mg-F-01인 두께 50 μm를 사용하였다. 한편 GMR-SV 센서부로 Mg-박막이나 Mg-포일로 흐르는 전류는 수조에 담긴 물이 Mg 스트립을 용해함으로써, 저항값이 크게 증가하는 특성을 고려하였다. GMR-SV의 선형적 특성을 감지하는 외부 자기장 크기가 약 10 Oe 균일한 자기장을 유지하기 위하여 직경 0.5 mm 코일의 굵기로 200번 감은 솔레노이드를 제작하여 사용하였다. GMR-SV 박막 시료는 PCB(printed circuit board)에 장착하여 솔레노이드 내부 중심에 놓고 4-단자 저항 측정법으로 얻은 자기저항 곡선(magnetoresistance curve; MR curve)으로부터 감지한 외부자기장을 결정하여 일정한 전압원으로 공급되는 전류를 조절하였다.

수조에 넣은 물은 일차적으로 시중에 유통되고 있는 Mg를 포함한 K, Na과 Ca 함량이 명시된 음용수(edible water)를 택하였다. 생수 플라스틱 병에 표기된 무기물 함량은 각각 칼슘(Ca) = 5.8~34.1 mg/l, 나트륨(Na) = 2.5~10.7 mg/l, 칼륨(K) = 0.3~1.4 mg/l, 마그네슘(Mg) = 0.8~5.4 mg/l, 그리고 불소(F) = 0~1.2 mg/l 이었다. 또한, 직경 2~3 mm 크기의 Mg 알갱이(shot)를 담긴 음용수의 산화환원전위(oxide restoration peak; ORP) 값을 측정하여 표준 기기를 사용하여 측정하였으며[9, 10], Mg 용해 속도는 용해시 생성되는 방울수의 변화를

광학 실체 현미경을 사용하여 측정하였고, 일반 수도물(tap water)과 증류수(DI water)의 경우와 실험값을 비교하여 그 결과를 논의하였다.

III. 실험결과 및 논의

Mg-박막과 Mg-포일의 용해특성 검출을 위한 GMR-SV 소자로부터 얻은 major MR 곡선과 minor MR 곡선을 Fig. 2(a)와 2(b)에 각각 나타내었다. 여기서 사용된 다층박막은 4-타겟(target) dc 마그네트론 스퍼터링 시스템(magnetron sputtering system)에서 증착하였고, 박막구조는 하부층형(bottom type) GMR-SV인 Ta(5 nm)/NiFe(7 nm)/Cu(2.5 nm)/NiFe(5 nm)/FeMn(12 nm)/Ta(5 nm)이었다[11]. 증착시 그림자 금속 마스크를 이용하여 박막시료는 0.5 mm 선폭을 유지하였다. 최대 자기저항비(MR ratio)는 4.5 %이었고, 4-선(wire) 내부 저항은 약 43.5 Ω 이었다. 고정 자성층의 교환결합 세기와 보자력은 각각 300 Oe와 35 Oe로 자기저항 곡선 형태와 특성이 매우 양호하였다. 또한 Mg용해에 따른 GMR-SV 다층박막의 출력신호 측정시 외부자기장을 인가하기 위해 솔레노이드에 인가된 전류값과 대응한 자기장 세기 값은 각각 1 mA과 1 Oe이었다. 하부층 자성 자유층인 NiFe과 상부 고정층 NiFe간의 상호교환작용으로 인하여 약 -13 Oe로 중심 이동이 되었고, 보자력이 약 1.5 Oe 정도임을 알 수 있다. 또한 미세한 외부 자기장의 변화에 가장 민감한 부분인 자장감응도(magnetic sensitivity; MS)는 -10 Oe에서 약 0.8 %/Oe로 미세한 자기저항센서로서 사용하는데 적합하였다[12].

미네랄 환원수에서 Mg 함량은 상대적으로 많은 Ca 함량에 비해 매우 중요하다. 미네랄의 용해 감지소자로 적용할 수 근거는 Mg이 물에 녹을 때 전자를 방출하면서 물을 다음과 같

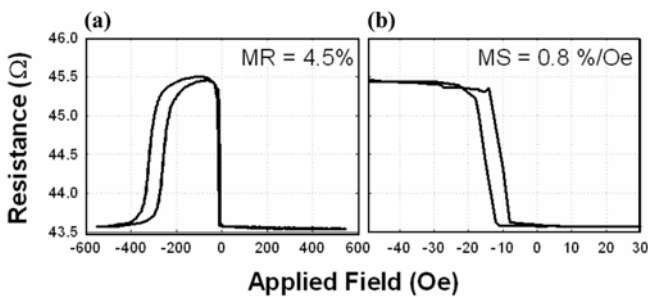
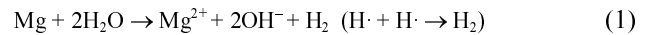


Fig. 2. The measuring MR (a) major and (b) minor loop for the GMR-SV with Sub./Ta(5 nm)/NiFe(7 nm)/Cu(2.5 nm)/NiFe(5 nm)/FeMn(12 nm)/Ta(5 nm) multilayer, which is prepared dc magnetron sputtering system. The measured MR ratio and 4-wire resistance are 4.5 % and 43.5 Ω, respectively. The exchange coupling field and coercivity of pinned NiFe layer are 300 Oe and 35 Oe, respectively. The magnetic sensitivity is 0.8 %/Oe at about 10 Oe.

이 화학식 (1)에 따라 분해하기 때문이다[13].



이렇게 형성된 OH⁻에 의해 물이 알칼리성으로 변하며, 또 동시에 형성되는 수소와 활성수소는 물의 ORP를 낮춰 물에 활성산소를 없애는 능력을 부여한다. Mg은 물의 구조를 치밀하게 하는 능력이 칼슘에 비해 상대적으로 부족하고, Ca과 달리 물맛을 약간 쓰게 만드는 단점이 있다. Mg의 이런 단점들을 보완하기 위해 Ca이 천천히 방출되도록 만든 세라믹을 비롯하여 활성수소를 안정하게 해주는 특별한 미네랄, 물의 구조를 치밀하게 하며 물의 용해력을 높여주는 자연계의 암석, 촉매작용을 할 수 있는 암석의 미네랄들을 함께 사용할 수도 있다[14].

보트(boat) 놓인 Mg 덩어리를 가열하여 열증착법으로 제작한 200 nm 두께 Mg 박막은 20 °C 물에 담그면 박막 표면에 닿은 물에 Mg이 용해될 때 방울을 형성하는 특성이 있다. 방울의 전형적인 모양을 확대한 영상을 Fig. 3의 우측상단에 나타내었다. 이것은 Mg이 용해될 때 물속에 존재하는 두 개의 활성수소가 결합하여 수소 기체(H₂)를 형성하여 생기는 현상으로 사료된다. 이러한 방울수는 물의 무기물 함량과 Mg 용해도 차이에 의존하게 된다. Fig. 3는 음용수, 수도물, 그리고 증류수에 대한 시간에 따른 방울수 변화를 나타낸다. 무기물 Mg 함량이 거의 없는 증류수의 경우, 초기에 발생한 방울수의 값이 적을 뿐 아니라, 45분 후에는 음용수와 수도물 보다 현저하게 Mg 박막이 완전히 용해되어 있음을 알 수 있다. 이것은 물 속에 존재하는 무기물의 이온의 함량과 pH 값의 변화로 인해 음용수 및 수도물의 무기물의 존재에 기인한 효과로 사료된다.

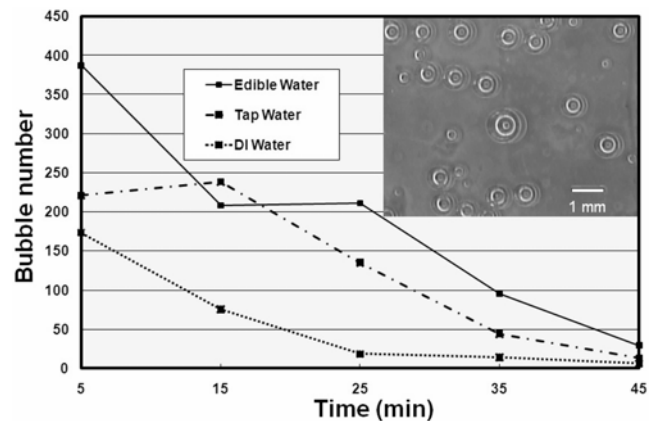


Fig. 3. The variation of Mg-bubble number as a function of time for three kinds of edible, tap, and distilled water. The typical feature of Mg-bubble is shown inset of the right top side. After 45 min, the speed of fast dissolving Mg is shown the order of edible > tap > DI water.

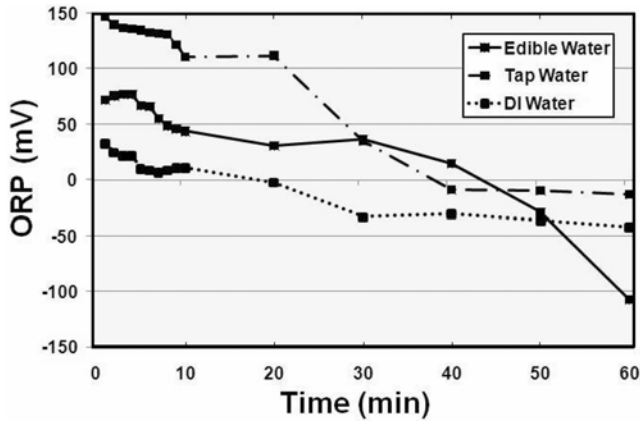


Fig. 4. The variation of ORP (oxide restoration peak) as a function of time for three kinds of edible, tap, and distilled water. The change times of reduced alkali for edible, tap, and distilled water are 43 min, 38 min, and 20 min, respectively.

Fig. 4는 20 °C 온도를 유지하고, 부피 200 cc 음용수에 100 g의 Mg 알갱이 들을 균일하게 배치하여 Mg이 물속으로 용해되는 과정에서, 시간경과에 따른 ORP 값의 변화를 보여 준 것이다. ORP 측정장비로서 Orion ORP meter 230A에 ORP 전극으로 Refilable ORP Triode 9180BN(Orion, USA) 를 사용하였다. 음용수, 수도물, 그리고 증류수에 대한 ORP 값이 양에서 음으로 변하는 시간인 산성에서 알칼리 환원수로 변하는 시점이 각각 43분, 38분, 20분으로 현저한 차이를 보였다. 시간이 지날수록 음용수, 수도물, 그리고 증류수에 대한 ORP의 대략적인 변화량 범위는 각각 27 mV, 27 mV, 그리고 16 mV이었다. 음용수와 수도물의 경우, 이미 물 속에 녹아있는 미네랄의 함량의 차이로 인해 초기 ORP 값은 다르 나 ORP 변화량이 거의 같으므로 실제적인 알칼리 환원수로 변화는 시점이 다를 것으로 사료된다. 이로서 미네랄 Mg이 세 종류의 물에 대해 용해되는 정도가 각각 다르며, ORP 변화 차이는 활성산소를 제거하고 알칼리 환원수로 변화는 정도의 차이와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

Fig. 5(a)는 Fig. 1의 측정시스템을 통해 측정된 데이터로서 x-축은 시간으로 y-축은 자기저항변위를 출력신호로 하여 얻은 그림이다. 4단자 측정법에서 전류 두 단자에 인가한 센싱 전류(sensing current)는 1 mA로 하였으며, 나머지 두 단자에서 나오는 출력 전압신호를 그림으로 얻은 결과이다. MR 측정은 Keithley 2400 Source Meter의 4-wire 측정 단자를 이용하였다. Fig. 5(a)는 외부자기장의 주기적인 변화에 의해 minor loop의 민감한 신호의 -, +간의 최소, 최대값의 step 파형을 나타내었다. 즉, Fig. 5(b)에서 자기저항 43.6 Ω의 최소값을 갖도록 +50 Oe에서 출발하여 0 Oe과 -10 Oe 외부자기장을 지나 음의 자기장에서 거의 -12 Oe까지 해당하며, -20 Oe까지 증가하면 자기저항 45.4 Ω으로 MR이 4.2%인

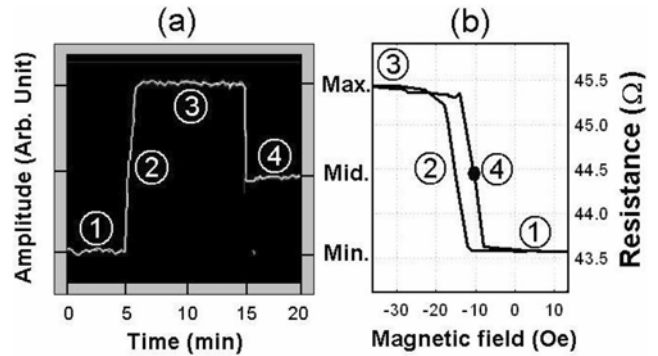


Fig. 5. (a) Step pulse type output signal and (b) MR minor loop for the GMR-SV with Sub./Ta(5 nm)/NiFe(7 nm)/Cu(2.5 nm)/NiFe(5 nm)/FeMn(12 nm)/Ta(5 nm) multilayer. Here the numbers of 1, 2, 3, and 4 are corresponded to each other of (a) and (b). The sensing position and magnetic sensitivity are step 4 with 44.4 Ω and 0.8 %/Oe at about -10.1 Oe, respectively. After decrease of magnetic field of 7 Oe the output 4-wire resistance signal is decreased from 44.4 Ω to 43.6 Ω.

최대값이 됨을 알 수 있다. Fig. 5(a)와 (b)는 히스테리시스 (hysteresis) 곡선에 대한 1 → 2 → 3 → 4단계별 대응하는 구간을 각각 표시하였다. 다시 -50 Oe부터 시작하여 3단계에서 4단계로 이동할 때, 5(b)에서 자장 민감도가 가장 민감한 부분인 자기저항 값 44.5 Ω의 중간점이 외부자기장을 -10 Oe임을 알 수 있다. 4단계에서 자장감응도가 0.8 %/Oe이고, 선형 특성을 가지므로 미세한 외부자기장 감소 변화를 감지할 수 있다. Fig. 2(b)에서 보여 주었듯이 가장 자장감응도가 민감한 부분인 중간 값을 외부자기장을 -10.5 Oe에 맞추어 놓는 측정법은 나노 자성입자가 담긴 용액을 떨어뜨려 입자의 검출 여부를 신호의 변화값으로 결정하는 바이오 마커로 사용할 수 있는 응용이 가능하다. Fig. 1에서 Mg-포일이 수조에 담긴 물과 반응하여 서서히 녹으면서 Mg-포일의 저항값은 초기 1.5 Ω에서 서서히 증가하나 솔로노이드의 저항 5 Ω은 변하지 않으므로 일정하게 인가된 공급 전압 3.0 V에서 생기는 전류 값은 차츰 감소하게 된다. 두께 50 μm과 폭 0.5 mm의 크기 Mg-포일은 30분 이내로 완전히 용해되어 전류값을 급격히 변화시키는 시간 영역에서 버퍼용 자기저항 값의 변화가 크게 나타났다.

실제로 무기물질 함량 중 Mg이 0.8 mg/l~5.4 mg/l가 용해된 H 회사의 B형 음용수를 Fig. 1의 측정시스템을 통해 측정된 데이터를 Fig. 6에 나타내었다. 수조안의 Mg 시료는 열 증착법으로 증착한 두께 200 nm, 폭 0.5 mm, 그리고 길이 20 mm의 Mg-박막과 두께 50 μm, 폭 0.5 mm, 그리고 길이 20 mm의 Mg-포일을 각각 장착하였다. Fig. 6(a)와 6(b)는 x-축은 시간으로 y-축은 자기저항변위를 출력신호로 하여 얻은 그림이다. 수조에 B형 음용수를 넣기 전, Fig. 5에서 설명하

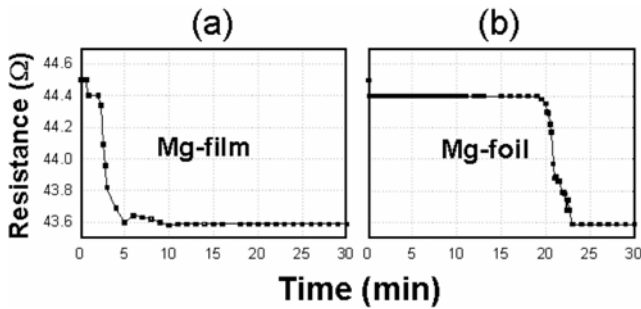


Fig. 6. The variation of output magnetoresistance as a function of dissolved time of (a) Mg-film and (b) Mg-foil for edible water. Here the edible water is composed of mineral content of 0.8~5.4 mg/l. The response times for the dissolving Mg-film and Mg-foil with edible water are 5 min and 20 min, respectively. The calculated output signals from dissolving speed of Mg-film and Mg-foil are 180 mV and 300 mV, respectively.

였듯이, 자장 감응도가 가장 크고 선형특성을 갖는 4단계 점인 자기저항 44.5 Ω에서 측정을 시작하였다. 먼저 Mg-박막일 경우, Fig. 6(a)의 시간대 자기저항 변화를 나타내었다. 음용수를 투입하고 5분 이내에 출력신호의 자기저항 값이 최소 43.6 Ω로 떨어졌으며 Mg 용해도의 시간 변화율은 $\Delta R/\Delta t = 0.18 \Omega/\text{min}$ 이었다. 이것은 GMR-SV 소자에 1 mA의 센싱 전류를 흘렸을 때, 1분 동안 $0.18 \text{ mV} = 180 \mu\text{V}$ 를 측정할 수 있어 미네랄 환원수의 Mg 함량 센싱소자로 충분히 응용할 수 있음을 보여 준 결과이다. 한편 Mg-포일인 경우, Fig. 6(b)의 시간대 자기저항 변화를 나타내었다. 음용수를 투입하고 20분에서 23분 구간에서 출력신호의 자기저항 값이 최소 43.6 Ω로 떨어졌으며 Mg 용해도의 시간 변화율은 $\Delta R/\Delta t = 0.3 \Omega/\text{min}$ 이었다. 1 mA의 센싱 전류를 흘렸을 때, 1분 동안 300 μV를 측정할 수 있어 Mg-박막을 조건 보다 큰 값으로 나타냈다.

현재 GMR-SV 소자를 이용한 나노 바이오 분석 소자들은 생물인지 시스템과 물리화학의 변화기가 결합된 것으로서 원하는 특이 종 분자를 선택함에 있어서 자성신호를 이용한 생물/화학적 분자 단위의 입자의 운동을 관찰에 용이하다[15]. 이것은 수 μm의 자성 비드(bead)와 수십 nm 크기의 나노 자성입자의 자성특성 조사 및 운동으로 인하여 자기장의 변화는 소자에 미치는 충분한 신호의 크기로 관찰할 수 있음을 보여준 것이다. 이미 Fig. 3과 Fig. 4에서 논의했듯이 미네랄 Mg 함량이 다른 각종의 음용수에서 Mg 용해속도가 완전한 차이가 있음을 알 수 있다. Fig. 6(a)와 (b)는 GMR-SV 소자를 이용해 Mg-박막이나 Mg-포일의 용해시간과 용해속도를 구별하여, 알칼리 환원수로 변환시키는 ORP측정 센서와 더불어 미네랄 Mg 용해센서 개발이 가능할 것으로 보여준 실험결과이다. 앞으로 생명건강 분야에서 이용될 나노자성소자

의 장점을 이용하여 랩온어칩(lab-on-a-chip) 형태의 미네랄 환원수 측정센서로서 제작과 응용에 관한 연구를 추후에 보고할 예정이다.

IV. 결 론

GMR-SV 센서를 이용하여 두께 200 nm의 Mg-박막과 두께 50 μm의 Mg-포일이 물속에서 용해되는 Mg 용해도 측정 센서 시스템을 제작하고 특성을 조사하였다. GMR-SV 센서는 미세한 외부 자기장의 변화에 가장 민감한 부분인 자장감응도가 -10 Oe에서 약 0.8 %/Oe이었다. Mg-박막과 Mg-포일에 물 속에서 용해 될 때, 흐르는 전류의 미세한 변화를 측정함으로써 미네랄 환원수의 기초 물성적 특징 중 하나인 용해도 감지기능을 확인하였다. 광학현미경과 ORP meter를 이용하여 측정한 Mg 용해 속도는 용해시 생성되는 방울수와 ORP의 시간 변화율을 먹는 생수, 일반 수도물과 증류수의 경우와 각각 비교하였다. 무기물 Mg 함량이 거의 없는 증류수의 경우, 물이 Mg 박막표면에 생성하는 방울수가 초기에는 적을 뿐 아니라, 45분 후에는 음용수와 수도물 보다 빨리 방울수가 0으로 감소하였다. 이로서 미네랄 Mg 함량이 다른 각종의 음용수에서 Mg 용해속도가 완전한 차이가 있음을 보여 주었다. 또한 Mg-박막 일 경우, 음용수를 투입하고 출력신호의 자기저항 값이 최대 45.4 Ω에서 최소 43.6 Ω로 떨어졌으며 Mg 용해도의 시간에 대한 자기저항 변화를 5분 이내에 검출하였고, 그 변화율은 $\Delta R/\Delta t = 0.18 \Omega/\text{min}$ 이었다. Mg-포일 일 경우, 20분 이내에 0.3 Ω/min이었다. Mg-박막이나 Mg-포일의 용해시간과 용해속도가 다르므로 GMR-SV 소자를 이용하면, 음용수를 알칼리 환원수로 변환을 감지하는 미네랄 Mg 용해센서 개발이 가능할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구 결과는 한국과학재단의 2008년 과학고영재교육내실화지원사업(R&E 프로그램사업) 과제 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] D. H. Lee, Physics and Technology (KPS) February, 3 (2003).
- [2] L. Frank, J. B. Sigwarth, and J. D. Craven, Geophys. Res. Lett., **12**, 303 (1986).
- [3] A. J. Swallow, Nature, **222**, 369 (1969).
- [4] M. Armbruster, H. Haberland, and H. G. Schinder, Phys. Rev. Lett., **47**, 323 (1981).
- [5] S. Shirahata, S. Kabayama, M. Nakano, et al., Biochem. Bio-

- phys. Res. Commun., **234**, 269 (1981).
- [6] Y. Tanaka, K. Kikuchi, Y. Saihara, and Z. Ogumi, *Electrochimica Acta*, **50**, 5229 (2005).
- [7] D. R. Baselt, G. U. Lrr, M. Natesan, S. W. Metzger, P. E. Sheehan, and R. J. Colton, *Biosens. & Bioelec.*, **13**, 731 (1998).
- [8] D. R. Baselt, G. U. Lee, and R. J. Colton, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **14**, 789 (1996).
- [9] J. Vilcáez, K. Suto, and C. Inoue, *Inter. J. Mineral Processing*, **88**, 37 (2008).
- [10] M. Banhidi, *Metal Finishing*, **105**, 518 (2007).
- [11] S. K. Kim, S. C. Shin, and K. Y. Kim, *J. Kor. Phys. Soc.*, **39**, 1060 (2001).
- [12] M. C. Ahn, S. D. Choi, H. W. Joo, G. W. Kim, D. G. Hwang, J. R. Rhee, and S. S. Lee, *J. of Kor. Mag. Soc.*, **17**, 156 (2007).
- [13] F. A. Cotton, G. Wilkinson, and P. L. Gauss, "Basic Inorganic Chemistry", Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., Chapter 9 (1996).
- [14] G. Du and B. Wang, *Earth Science Frontiers*, **15**, 142 (2008).
- [15] S. H. Park, K. S. Soh, D. G. Hwang, J. R. Rhee, and S. S. Lee, *J. Magnetism*, **13**(1), 30 (2008).

Characteristics of Mineral Mg Dissolving Sensor in Edible Water using GMR-SV Device

Ju-Hee Lee, Da-Woon Kim, Min-Ji Kim, and Kwang-Seo Park

Kangwon Science High School, Taejang-dong, Wonju-City, Gangwon-do 220-120, Korea

Joon-Ho Kang

Rabi Science Scholars Program Columbia University, 2960 Broadway, New York, USA

Sang-Suk Lee*

Dept. of Oriental Biomedical Engineering, Sangji University, Woosan-dong, Wonju-City, Gangwon-do 220-702, Korea

(Received 29 August 2008, Received in final form 10 September 2008, Accepted 10 September 2008)

The measurement dissolution sensor system using GMR-SV device with magnetic sensitivity of 0.8%/Oe and Mg-film thick of 200 nm and Mg-foil thick of 50 nm was fabricated and characterized. During the water dissolving process of Mg-film and Mg-foil, the subtle variation of magnetic field by the decrease of current in solenoid was detected by the GMR-SV sensor. The variations of Mg bubble number and ORP as a function of time for three different kinds of edible, tap, and distilled water, are measured and compared. After 45 min, the speed of fast dissolving Mg was shown the order of edible > tap > DI water. The variation of output magnetoresistance as a function of dissolved time of Mg-film and Mg-foil for edible water, which is composed of mineral content of 0.8~5.4 mg/l was investigated. The response times for the dissolution in edible water were 5 min and 20 min, respectively. From the measurement of dissolving time and speed for Mg-film and Mg-foil using GMR-SV device, the mineral Mg sensor system in edible water can be possible to develop.

Keywords : GMR-SV (giant magnetoresistance-spin valve), Mg-film, Mg-foil, mineral edible water, ORP (oxide restoration peak)