

자화수에서 염류의 용해속도 변화와 자화수에 의한 NaCl, KCl 및 석고의 결정화 양상에 대한 연구

손相一* · 金東律 · 李錫瑾[†]
강릉대학교 자연과학대학 화학과
[†]강릉대학교 치과대학 치의학과 구강병리학교실
(2000. 11. 6 접수)

Changes of Solubility Speed of Salts in Magnetized Water and Crystal Patterns of NaCl, KCl and Gypsum Intermediated by Magnetized Water

Sang Il Jeon*, Dong-Ryul Kim, and Suk Keun Lee[†]

Department of Chemistry, Kangnung National University, Kangnung 210-702, Korea

[†]Department of Oral Pathology, Kangnung National University, Kangnung 210-702, Korea

(Received November 6, 2000)

요 약. 자화수의 물리화학적인 특성을 알아보기 위하여, 전해질의 용해 성질과 결정형성 양상을 관찰하고 석고의 수화반응을 조사하였다. 본 연구를 통하여 본 결과, 자화수는 일반 증류수에 비하여 NaCl 및 KCl 각각에 영향을 주어, 이들 염류들의 용해속도와 결정화에 변화를 나타내었다. 또한 자화수는 일반 증류수에 비하여 석고의 수화반응을 촉진시키는 결과가 관찰되었다. 즉, 자화수의 분분자 배열이 NaCl 및 KCl과 상호 반응하여 NaCl인 경우에는 초기 용해속도를 감소시키고 결정화를 억제시키는 효과를 보였으며, KCl인 경우에는 초기 용해속도를 증가시키고 결정화를 가속시키는 효과를 보였다. 그리고 석고의 경화에서는 자화수가 석고의 결정화를 증가시켰으며, 보다 치밀한 구조의 석고 결정화를 만들었다. 이러한 결과들은 모두, 일반 증류수에 비하여 자화수가 독특한 물분자 cluster 배열을 하고 있기 때문에, 각각의 염류 또는 석고와의 수화반응에 차이를 보인다고 생각된다.

ABSTRACT. In order to know the physicochemical properties of magnetized water, the experimental methods of column assay, crystallization of salts and gypsum have been explored to elucidate the effects of magnetized water on the solubility speed of salts, crystal pattern from salt aqueous solutions, and gypsum crystal pattern, respectively. In the column assay for salt solubility the magnetized water showed the decreased initial solubility speed of NaCl and slightly increased initial solubility speed of KCl, however, the maximum solubilities of NaCl and KCl in the magnetized water were almost same in the double distilled water, respectively. The column assay also indicated that the magnetized water showed the decreased initial solubility speed of urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), sodium citrate ($\text{HOOC}(\text{CO}_2\text{Na})-(\text{CH}_2\text{CO}_2\text{Na})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) and $(\text{NH}_4)_2$ compared to the double distilled water, while slightly increased solubility speed of glycine ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$), boric acid (H_3BO_3), MgSO_4 . Crystallization of 1% or 5% salt aqueous solutions by rapid evaporation disclosed that the magnetized water produced more condensed and bigger crystal structure than the control water. The pattern of gypsum crystal formation also indicated that the magnetized water enhanced the crystal formation in the hydration reaction of gypsum plaster compared to the double distilled water. Taken together, it was presumed that the magnetized water showed the different physicochemical properties in the interaction with various salts, especially showed the contrast results between NaCl and KCl.

서 론

자화수의 특이한 물리화학적 성질에 대하여 여러 학자들의 연구가 행하여져 왔는데, 대체로 공업용수를 사회시켜서 사용한 경우에 배관 내부에 생기는 scale의 양이 감소되며,¹ 또한 이와 유사한 현상으로 자화수를 구강 세척액으로 사용한 경우에는 치면에 생기는 calculus의 발생이 감소된다는 보고가 있으며,² 생체물질 내에서의 반응에 대하여 연구한 예로는 glutamate decarboxylase의 활성도를 potentiometric enzyme electrode 방법으로 측정한 결과, 일반적인 물에서보다 자화수에서 glutamate decarboxylase의 활성도가 30% 정도 증가한다는 것을 보고하였다.³ 한편 자화수를 29명의 구강 양치액으로 사용한 결과, plaque 형성억제 효과는 비교적 적었으나 calculus 형성억제 효과는 매우 높은 것으로 나타났다.⁴ 최근에는 중국에서 노석증(uroolithiasis) 환자의 치료에 자화수를 사용해서 좋은 임상결과를 보고하였는데, oxalate, uric acid 그리고 phosphate urolith 등의 자화수에 대한 용해성은 일반 물 내조 근의 증류수에 비하여 다소 높았으며, 자화수를 사용하여 사육된 불고기에서 신장 내 calcium crystal이나 조직 내 calcium의 농도가 일반적인 불고기에서 보다 현저하게 낮았다.⁵

특히 분자간의 반응에 관하여 세밀한 연구도 행하여졌는데, 운모 표면(mica surface)과 다양한 종류의 전해질 내에 있는 atomic force microscopy의 probe tip 사이의 short-range interaction force를 관찰한 결과, 자화수는 비자화수에 비하여 운모 표면에 형성되는 absorbed layer의 두께를 증가시켰는데, 이러한 현상은 주로 Cs⁺, Rb⁺, 그리고 K⁺ 같은 양이온 물질에서 현저하였고, 약 1일 동안 계속되는 자화수의 기억현상(memory phenomenon)도 보였다.⁶ 일반적으로 물분자는 H₂O로 구성되어 있는데 물분자의 구성 상태에 따라서 고체, 액체, 및 기체의 형태로 나타난다. 물분자의 자유운동 에너지(free movement energy)가 최소화 되고 분자간의 수소결합이 가장 안정된 위치로 대략 육각형의 구조를 이루게 되면서 물분자는 고체가 되어 얼음의 상태로 되고, 물분자의 자유운동 에너지가 증가되어서 인접하는 물분자들과의 수소결합 에너지보다 훨씬 크게되면 물분자들이 분산되어 기체 상태가 된다.⁶ 생물학적으로도, 물분자가 액체 상태로 있을 때 인체의 각종 생명 현상에 이용되어지는 것을

볼 수 있다. 물분자가 액체 상태로 존재할 때에는 쌍극성(dipole, 雙極性)의 특성을 보이는데, 이는 물분자는 두개의 수소원자와 한 개의 산소 원자를 사이에 두고 대략 105°의 각도로 이루어져 있으므로, 특징적으로 수소 원자에 의한 두개의 양극과 산소원자에 의한 한 개의 음극이 비대칭의 극성을 이루기 때문이다.

생체 내에서 물분자가 사용되어지는 현상에 관하여는 많은 연구가 이루어지고 있는데, 대부분의 생체 대사 과정들은, 물분자의 치환반응에 의하여 에너지를 저장하고 방출하며, 단백질이나 핵산을 합성하거나 분해하는 생화학반응이 일어난다. 그런데 이러한 물분자의 생화학반응은 물분자가 직접 다른 생체 물질과 반응하여 이루어지는 것이 아니라 반드시 적당한 buffer 기능을 갖는 용질이 필요하다.⁸⁻¹⁰ 생체 내 주요 용매인 물에는, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Zn²⁺, Fe²⁺, SO₄²⁻, PO₄³⁻, Cl⁻ 등의 용질이 용해되어서 buffer의 역할을 하는데, buffer의 역할은 일반적으로 용매의 pH나 삼투압을 일정한 수준으로 유지한다. 더욱 중요한 것은 이러한 용질이 물분자와 반응하여 물분자의 배열을 바꾸어 줄 수가 있는데 특히 Na⁺와 K⁺의 영향은 매우 상반적이며 특이하다. Na와 물분자는 서로 반응해서 물분자가 Na⁺ 주위로 둘러싸는 모양으로 배열해, 결과적으로 Na⁺는 물분자를 분산시켜서 Na⁺ 주위로 모이게 하여 물분자 배열이 구조화된 양상으로 부풀리게 된다. 따라서 물의 삼투압이 증가하게 되고 Na⁺가 물분자를 강하게 당김으로써 물분자의 쌍극 성이 약하게 되어 다른 용질과의 반응성이 감소된다.¹¹ 반면에 K⁺는 물분자들 주위를 둘러싸는 배열을 함으로써 물분자들을 그룹별로 밀집시켜서 물분자들의 cluster를 형성하게 된다.^{6,12-14} 특히 생체 내의 세포에서는, Na⁺와 K⁺ 이온들을 각각 세포의 바깥과 안에서 구별되어 사용하는데, 세포 바깥에서 풍부하게 존재하는 Na⁺는 세포외기질의 삼투압을 유지하는데 중요하게 사용되지만, 용매와 함께 세포 내로 들어 온 Na⁺ 이온은, 세포의 Na⁺ 펌프에 의하여 세포 바깥으로 추출되어지며 동시에 K⁺ 이온이 세포 내에 농축되어진다.^{12,15-21} 이렇게 세포 내에서 농축되어지는 K⁺의 역할에 대하여 많은 연구가 행하여져 왔는데, 최근에는 NMR 연구를 통하여 세포 내 endoplasmic reticulum이나 mitochondria의 내벽에 존재하는 물분자의 cluster를 연구한 결과, 세포외기질 성분에 비하여 물분자의 cluster들이 농축되어져 있는 것을 관찰하였

다.^{22,23} 이는 K^+ 이온이 물분자의 cluster를 농축시켜서 세포 내 endoplasmic reticulum이나 mitochondria 구조에 농축된 물분자가 쉽게 반응할 수 있게 하는 것으로 설명된다. 그러므로 물분자의 cluster가 농축되어지는 현상에 의하여 원활한 세포 내 대사가 이루어진다고 할 수 있는데, 본 연구에서는 맥동성 자기장에 의하여 형성된 자화수내 물분자들이 cluster를 형성하고 농축되어지는 현상이 일어남을 알 수 있었다. 이는 다른 무기질 성분 염류의 도움 없이 물분자의 배열을 바꾸어 주는 현상이며, 이렇게 맥동성 자기장에 의하여 물분자 배열이 평형된 물의 생체 내 반응에 대하여 연구하는 것은 매우 의미가 있다고 생각한다.

자화수(magnetized water)는 원래 물분자가 자화되어서 자기장의 특성을 갖는다는 의미가 아니라, 자기장에 의하여 물분자의 배열이 바뀌어져서 특이한 물의 특성을 보이는 상태를 의미한다. 따라서 모든 물분자들이, 변화하는 자기장에, 예를 들면 맥동성 자기장, 의하여 반응할 수 있는데, 이는 수소원자가 고주파수의 강한 자기장에 의하여 유도되는 magnetic resonance 와 구별되는 현상으로 고주파수의 강한 자기장에 의하여 수소원자가 순간적으로 자기장 방향에 따라 spin 배열을 한 후에 바로 원상 복구되어지지만, 계속적으로 수소원자의 spin 배열이 지속되는 경우에는 수소원자가 물분자의 쌍극자 특성인 H에 영향을 주어서 물분자 배열에 영향을 주게 된 것으로 추측된다. 이러한 현상은 자화수의 NMR 관찰에서 T2 relaxation time 이 증가되어지는 것으로 알 수 있는데, 이러한 자화수의 물분자 재배열 현상은 자화수를 평상 상태로 방치하였을 경우에도 기억현상이 있어서 대략 12시간 정도 경과되어야 T2 relaxation time의 증가현상이 거의 원래 상태로 환원되는 것을 확인하였다(본 연구팀이 수행한 일련의 결과 임, 본 연구에서는 자료를 제시하지 않았음). 어쨌든, 수용성 염류의 최대 용해도나 pH의 온도에 따른 변화 등은 잘 알려져 있으나 염류의 용해속도를 측정하는 일정한 방법이나, 일정한 단위 시간에 최대로 용해되어질 수 있는 양에 관한 연구는 거의 전무한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 특정한 염류가 일정한 시간 내에 용액 내로 최대한 용해될 수 있는 용질의 용해속도를 알기 위한 검색의 방법을 고안하였으며, 이에 대한 결과를 통하여 자화수의 물리화학적 특성을 관찰하였기에 이를 보고하는 바이다.

실험재료 및 방법

Column assay for salt solubility. 본 연구에서는 3차 증류수 제조장치(Aqua 312N, Young-Lin Co, Korea)를 사용하여 이종으로 여과한 물을 약 600-800 Gauss(Gauss/Telsa meter, 4048 F.W. Bell, Orlando, U.S.A), 3 Hertz의 맥동성 자기장을 발생시키는 장치를 사용하여 자화수를 제조하였으며, 사용한 실험재료로는 NaCl(Sigma, U.S.A), Urea(CH_4N_2O , Sigma, U.S.A), Sodium Citrate($HOC(CO_2Na)(CH_2CO_2Na)_2 \cdot 2H_2O$, Aldrich Chemical Company, U.S.A), $(NH_4)_2SO_4$ (Showa, Japan), KCl(Sigma, U.S.A), KH_2PO_4 (Showa, Japan), Glycine(NH_2CH_2COOH , Sigma, U.S.A), Tris-base($NH_2C(CH_2OH)_3$, Sigma, U.S.A), Boric acid(H_3BO_3 , Sigma, U.S.A), $MgSO_4$ (Sigma, U.S.A) 등의 순도가 높은 염류들을 사용하였으며, 이러한 재료들을 이용하여 poly-chromatography column(Bio-Rad, CA, U.S.A)에 자화수 혹은 대조 증류수를 10 ml, 넣고 Sepadex G-50 gel(Pharmacia, U.S.A)을 0.100 g(chemical balance 사용, Mettler AB104, Switzerland) 넣은 후, column 내에서 충분히 두 세 차례 흔들고 5분간 방치한 후 검사하고자 하는 염류 1,000 g을 일시에 column에 넣었다. 자유 방류한 후 처음 10 방울은 버리고, 계속되는 3 방울씩을 1.5 ml, micro centrifuge tube에 15분 이상 채취하였으며, 증발을 방지하기 위하여 마개를 막아서 보관한 후, Abbe refractometer(AO scientific instrument, U.S.A)을 이용하여 굴절률을 측정해 염류의 농도를 기록하였다. 이때 column assay의 모든 실험은 동일한 column을 반복해서 사용하여 column 내의 유속이나 부피의 변화가 없는 동일한 조건을 유지하도록 하였으며, column assay의 일정한 온도를 유지하기 위하여 항온조를 연결한 25±1 °C의 chamber 내에서 실험을 수행하였으며, 굴절률 측정 또한 항온조를 이용해 동일한 온도에서 행하였다.

금속증발에 의한 NaCl과 KCl의 결정화 실험. 자화수가 염류들과 반응하는 상태를 파악하기 위하여, 저농도의 염류 수용액이 신속하게 증발할 때 나타나는 결정 모양을 관찰하였는데, 1%, 5% NaCl 수용액과 1%, 5% KCl 수용액, 즉, 저농도의 수용액을 만들어 slide glass에 도막 표본을 만들고, 60 °C 건조기에 있는 60 °C의 건열판 위에서 신속하게 건조시켜서, 그 결정 양상을 광학현미경을 통하여 200배와 400배로 관찰하

Table 1. Measurement of dissoluition speed of various salts at 25 °C.

Fraction	NaCl		(NH ₄) ₂ SO ₄		Urea		Sodium citrate		KCl	
	Control water	Magnet. water	Control water	Magnet. water	Control water	Magnet. water	Control water	Magnet. water	Control water	Magnet. water
1	1.3404:0.00000	1.3370:0.00000	1.3378:0.00143	1.3388:0.00186	1.3393:0.00168	1.3389:0.00119	1.3384:0.00163	1.3373:0.00135	1.3363:0.00000	1.3369:0.00000
2	1.3465:0.00101	1.3423:0.00077	1.3459:0.00204	1.3467:0.00246	1.3489:0.00268	1.3461:0.00257	1.3456:0.00216	1.3434:0.00265	1.3409:0.00099	1.3415:0.00071
3	1.3529:0.00132	1.3482:0.00173	1.3543:0.00188	1.3545:0.00262	1.3589:0.00265	1.3568:0.00283	1.3531:0.00238	1.3503:0.00286	1.3455:0.00072	1.3465:0.00063
4	1.3584:0.00130	1.3547:0.00171	1.3625:0.00152	1.3619:0.00239	1.3669:0.00203	1.3638:0.00305	1.3597:0.00250	1.3572:0.00321	1.3498:0.00096	1.3507:0.00081
5	1.3633:0.00131	1.3602:0.00140	1.3695:0.00168	1.3684:0.00242	1.3737:0.00321	1.3689:0.00526	1.3664:0.00323	1.3618:0.00401	1.3535:0.00128	1.3543:0.00048
6	1.3672:0.00170	1.3645:0.00112	1.3759:0.00211	1.3746:0.00221	1.3777:0.00188	1.3748:0.00275	1.3729:0.00369	1.3706:0.00395	1.3566:0.00063	1.3570:0.00054
7	1.3702:0.00208	1.3682:0.00091	1.3814:0.00259	1.3799:0.00227	1.3815:0.00193	1.3792:0.00252	1.3794:0.00398	1.3778:0.00475	1.3586:0.00066	1.3589:0.00074
8	1.3727:0.00263	1.3708:0.00071	1.3860:0.00249	1.3846:0.00210	1.3837:0.00164	1.3817:0.00214	1.3854:0.00427	1.3846:0.00529	1.3600:0.00085	1.3604:0.00094
9	1.3743:0.00299	1.3731:0.00095	1.3894:0.00244	1.3884:0.00196	1.3853:0.00122	1.3837:0.00157	1.3910:0.00430	1.3906:0.00514	1.3614:0.00089	1.3615:0.00107
10	1.3757:0.00316	1.3746:0.00132	1.3921:0.00210	1.3916:0.00157	1.3866:0.00088	1.3852:0.00144	1.3957:0.00365	1.3958:0.00478	1.3623:0.00095	1.3623:0.00118
11	1.3766:0.00360	1.3758:0.00148	1.3940:0.00155	1.3937:0.00107	1.3871:0.00125	1.3862:0.00137	1.3995:0.00277	1.3998:0.00437	1.3629:0.00099	1.3628:0.00128
12	1.3769:0.00365	1.3765:0.00160	1.3953:0.00115	1.3951:0.00111	1.3867:0.00272	1.3868:0.00128	1.4024:0.00202	1.4025:0.00353	1.3633:0.00112	1.3631:0.00146
13	1.3772:0.00369	1.3770:0.00162	1.3962:0.00084	1.3961:0.00066	1.3879:0.00108	1.3873:0.00132	1.4047:0.00141	1.4042:0.00317	1.3633:0.00119	1.3630:0.00153
14	1.3771:0.00380	1.3771:0.00175	1.3968:0.00064	1.3968:0.00065	1.3882:0.00103	1.3878:0.00121	1.4058:0.00109	1.4059:0.00186	1.3632:0.00129	1.3629:0.00171
15	1.3774:0.00382	1.3771:0.00176	1.3972:0.00036	1.3972:0.00043	1.3879:0.00080	1.3879:0.00129	1.4065:0.00075	1.4067:0.00133	1.3629:0.00143	1.3624:0.00187
16			1.3973:0.00034	1.3973:0.00037						
17			1.3974:0.00035	1.3975:0.00022						
18										

Table 1. (continued).

Fraction	KH ₂ PO ₄		Glycine		Boric acid		Trizma-base		MgSO ₄	
	Control water	Magnet. water	Control water	Magnet. water	Control water	Magnet. water	Control water	Magnet. water	Control water	Magnet. water
1	1.3356±0.00071	1.3358±0.00075	1.3351±0.00057	1.3366±0.00082	1.3333±0.00018	1.3334±0.00015	1.3364±0.00155	1.3380±0.00161	1.3367±0.00206	1.3381±0.00090
2	1.3389±0.00085	1.3391±0.00105	1.3384±0.00128	1.3409±0.00129	1.3337±0.00042	1.3337±0.00019	1.3324±0.00333	1.3451±0.00219	1.3398±0.00377	1.3437±0.00138
3	1.3418±0.00070	1.3420±0.00113	1.3430±0.00163	1.3456±0.00143	1.3340±0.00029	1.3341±0.00021	1.3496±0.00423	1.3522±0.00226	1.3435±0.00390	1.3476±0.00096
4	1.3439±0.00057	1.3440±0.00095	1.3473±0.00174	1.3496±0.00143	1.3344±0.00035	1.3345±0.00022	1.3561±0.00443	1.3581±0.00190	1.3470±0.00397	1.3503±0.00136
5	1.3453±0.00060	1.3454±0.00084	1.3512±0.00190	1.3531±0.00127	1.3347±0.00028	1.3347±0.00019	1.3597±0.00500	1.3634±0.00152	1.3496±0.00397	1.3530±0.00170
6	1.3464±0.00054	1.3465±0.00065	1.3545±0.00163	1.3558±0.00126	1.3350±0.00025	1.3351±0.00011	1.3666±0.00336	1.3678±0.00113	1.3520±0.00365	1.3552±0.00256
7	1.3471±0.00060	1.3473±0.00066	1.3571±0.00131	1.3579±0.00093	1.3353±0.00021	1.3354±0.00011	1.3708±0.00283	1.3716±0.00101	1.3546±0.00347	1.3572±0.00323
8	1.3477±0.00061	1.3478±0.00071	1.3591±0.00112	1.3595±0.00086	1.3353±0.00021	1.3355±0.00019	1.3741±0.00225	1.3749±0.00101	1.3572±0.00373	1.3596±0.00381
9	1.3482±0.00072	1.3483±0.00069	1.3606±0.00096	1.3607±0.00060	1.3355±0.00026	1.3356±0.00016	1.3769±0.00179	1.3776±0.00100	1.3601±0.00440	1.3621±0.00427
10	1.3486±0.00076	1.3487±0.00065	1.3618±0.00078	1.3617±0.00051	1.3356±0.00025	1.3357±0.00019	1.3787±0.00152	1.3794±0.00092	1.3628±0.00470	1.3648±0.00452
11	1.3490±0.00069	1.3491±0.00059	1.3625±0.00073	1.3624±0.00039	1.3357±0.00023	1.3357±0.00015	1.3805±0.00154	1.3810±0.00095	1.3655±0.00549	1.3677±0.00470
12	1.3494±0.00075	1.3494±0.00080	1.3631±0.00050	1.3629±0.00045	1.3357±0.00016	1.3358±0.00007	1.3816±0.00164	1.3820±0.00108	1.3683±0.00610	1.3705±0.00461
13	1.3496±0.00075	1.3497±0.00075	1.3634±0.00040	1.3631±0.00047	1.3357±0.00015	1.3358±0.00008	1.3825±0.00164	1.3826±0.00116	1.3711±0.00634	1.3732±0.00420
14	1.3499±0.00075	1.3500±0.00067	1.3637±0.00029	1.3634±0.00037	1.3357±0.00015	1.3358±0.00008	1.3829±0.00163	1.3830±0.00136	1.3735±0.00657	1.3759±0.00385
15	1.3501±0.00068	1.3502±0.00065	1.3637±0.00032	1.3635±0.00039	1.3358±0.00020	1.3358±0.00004	1.3833±0.00181	1.3832±0.00159	1.3756±0.00622	1.3782±0.00335
16								1.3774±0.00582	1.3801±0.00297	
17								1.3791±0.00514	1.3816±0.00217	
18								1.3806±0.00448	1.3828±0.00158	
19								1.3816±0.00369	1.3835±0.00119	
20								1.3827±0.00295	1.3841±0.00106	

었다.

석고의 결정화 실험. 자화수에 의한 석고 경화시, 결정체의 모양을 관찰하기 위하여 1 micro spoon 석고 약 10 mg)의 석고에, 5 μL의 자화수 또는 일반 3차 증류수와 약 5초간 충분히 섞고 cover glass를 이용해 분산시켜서 도말 표본을 제작하여, 경화 시 나타나는 결정체 모양을 광학 현미경으로 관찰하였다.

실험결과

Column assay for salt solubility. 자화수가 염류의 용해속도에 미치는 영향을 관찰한 결과, 염류의 종류에 따라 차이가 있음을 관찰하였는데, 이들을 크게 세 group으로 나눌 수 있었다. 첫째 group은 일반대 조군의 증류수보다 자화수에 의하여 용해속도가 감소되는 염류들이고, 둘째 group은 자화수에 의하여 용해 속도에 큰 영향을 받지 않는 염류이고, 셋째 group은 자화수에 의하여 용해속도가 증가되는 염류들로 분류하였으며 이들의 관찰 결과는 다음과 같다(Table 1).

첫째 group: NaCl, HOC(CO₂Na)-(CH₃CO₂Na)₂-2H₂O, CH₃N₃O, (NH₄)₂SO₄ 등의 경우, 물 10 mL에 이들 염류 1 g을 일시에 녹인 결과 대조군의 일반 증류수에서보다 자화수에서 용해속도가 감소하는 경향을 보였는데, 그 중에서도 NaCl과 CH₃N₃O는 용해속도가 감소하는 경향이 다른 두 염류들보다 훨씬 크게 나타났다. 특히 NaCl의 경우에는 초기 fraction에서부터 용해속도가 감소되어 나타났는데, 10번째 fraction부터는 용해 속도가 증가되어 대조 증류수의 용해율과 거의 일치하는 것을 볼 수 있었다. 그리고 CH₃N₃O의 경우에는 자화수에서의 용해속도가 뚜렷하게 감소되어 나타났는데, 거의 12번째 fraction에서 대조 증류수의 용해율과 일치되어지는 양상을 보이는 것으로 보아, 자화수에서의 초기 용해속도는 NaCl보다는 CH₃N₃O가 더 감소되는 경향을 나타낸다는 것을 알 수 있었다 (Fig. 1).

둘째 group: 자화수에서 용해속도의 변화가 없는 염류는 KI₂PC인데, 이 염류는 용해속도가 대조군의 증류수와 비교해 자화수에서 거의 차이가 없었다(Fig. 2).

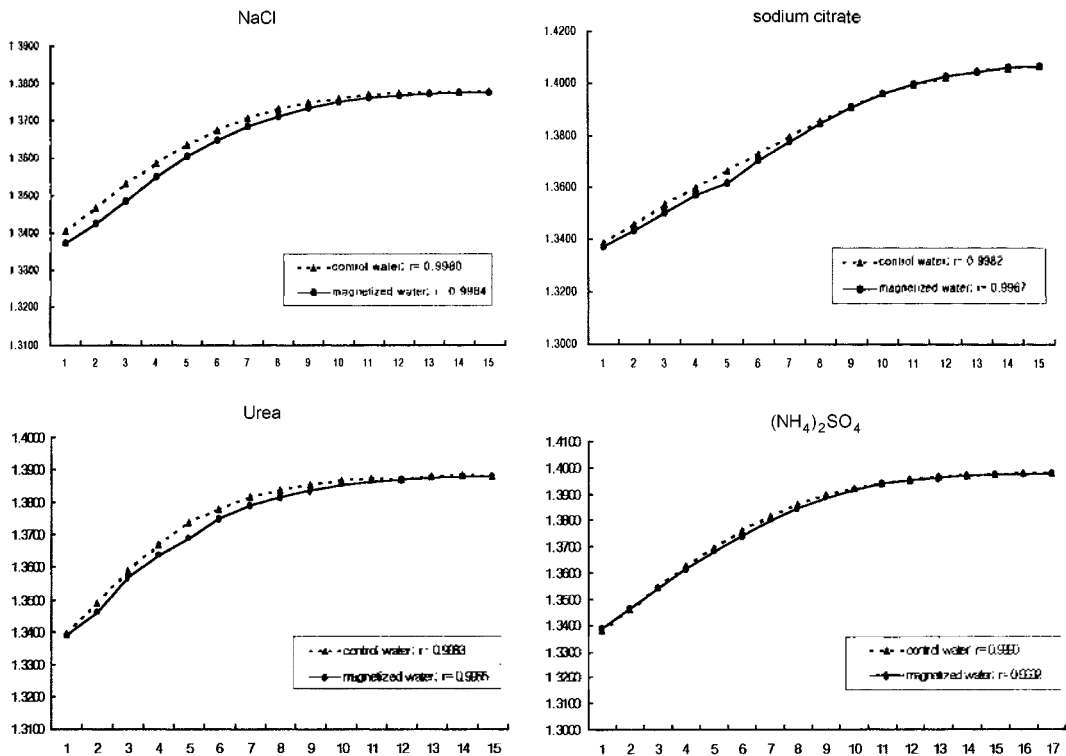


Fig. 1. Salts exhibiting decreased solubility speed in the magnetized water at 25 °C. (X axis; fraction, Y axis; refractive index).

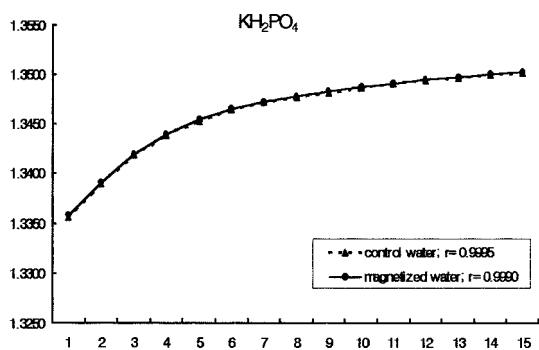


Fig. 2. Salts exhibiting increased solubility speed in the magnetized water at 25 °C. (X axis, fraction, Y axis, refractive index).

셋째 group: 자화수에 의하여 용해속도가 증가하는 염류로는 KCl, NH₄Cl, CH₃COOH, NH₄C(CH₃OH)₂, MgSO₄, H₃BO₃ 등이 있는데, 대조군의 증류수와 비교해 자화수에서 이러한 다섯 가지의 염류들은 더 쉽게 녹는 경향이 나타났다. NH₄CH₃COOH의 경우에는 자화수에서의 용해속도가 크게 증가되었으며, 거의 9번째 fraction에 이르러 대조 증류수의 용해율과 일치되었다. MgSO₄의 경우에는 자화수에서 용해도가 현저하게 증가되었는데 이러한 증가현상이 거의 20번째 fraction에 이르러 대조 증류수의 용해율과 일치되었다(Fig. 3).

금속증발에 의한 NaCl과 KCl의 결정화 실험. 1^o.

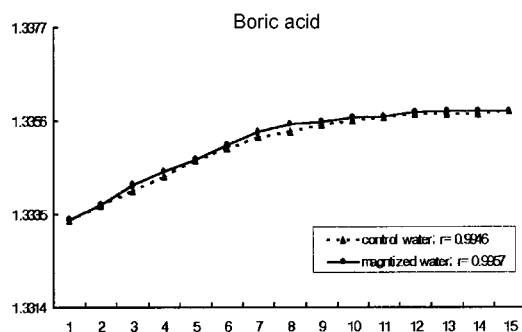
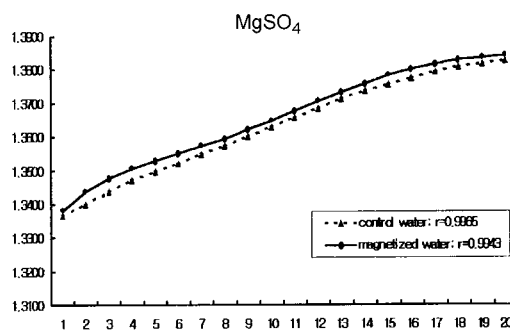
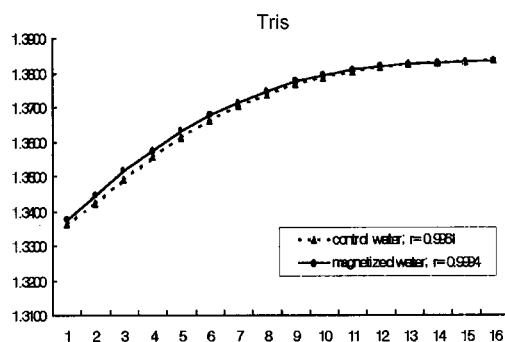
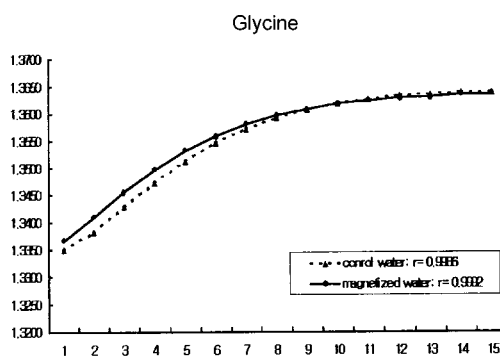
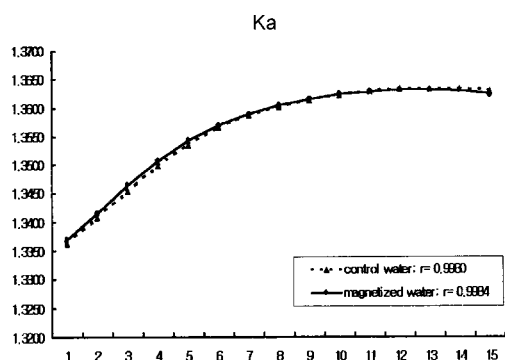


Fig. 3. Salt exhibiting no change of solubility speed in the magnetized water at 25 °C. (X axis, fraction, Y axis, refractive index).

와 5% NaCl 수용액의 경우, 신속하게 물을 증발시켰을 때 나타나는 결정구조를 관찰하였는데, 결정화 속도가 매우 신속하게 진행되었으며 결정체가 불규칙하게 형성되어서 통계학적으로 결정체의 숫자를 환산하기는 어려웠으나, 현미경 배율상에서의 많고 적음을 육안으로 식별할 수 있었으며, 특히 결정체의 크기는 쉽게 구별되었다. 1% NaCl 수용액의 경우 결정화 양상이 다양하게 나타나서 기본적인 피라미드 구조가 서로 연결되어 불꽃 모양, 십자형 구조, 로마 집 또는 창 모양 등이 나타났다. 일반 증류수에서 보다 자화수를 용매로 사용한 경우에는 현미경 관찰상에서 결정체의 숫자가 감소되어 보였으며, 결정체 덩어리가 훨씬 크며 결정 구조도 더욱 복잡하고 치밀하였는데, 결정체가 로마 집 모양의 결정보다는 십자형 구조의 결정이 많았으며, 십자형 구조의 결정 모양도 불꽃 모양의 결정 구조로 이행되어지는 경향이 뚜렷하였다. 5% NaCl 수용액의 경우에는 1% NaCl에서 보였던 불꽃 모양, 십자형 구조, 로마 집 또는 창 모양 등의 결정 양상이 거의 관찰되어지지 않았으나, 입방형의 치밀한 구조의 피라미드 모양이 흔하게 관찰되었다. 자화수에서 생기는 결정화가 일반 증류수에서보다 더 치밀한 구조의 피라미드 결정을 이루었으며, 형성된 피라미드의 크기도 대조군의 증류수에서 보다 훨씬 큰 구조를 보였다. 한편 고배율 관찰에서는 작은 피라미드 결정의 구조가 대조군의 증류수에서 보다, 자화수에서 더 밀집되어 있고 고리 모양의 연결 구조를 보였다(Fig. 4).

KCl의 결정화 구조는 NaCl의 결정화 구조와 다소 다르게 나타났는데, 1% KCl의 경우에는 덩불 숲과 같은 산만한 결정 구조에 창 모양의 길이 성장을 하는 결정 구조를 보였는데, 일반 증류수에서 보다 자화수를 용매로 사용한 경우에 덩불 숲이나 창 모양의 결정 구조가 더 크고 조밀한 양상이 두드러지게 나타났다. 결정화의 빈도가 현미경 관찰상에서 다소 증가되어 보였다. 한편, 5% KCl의 경우에서도 덩불 숲과 창 모양의 결정 구조가 관찰되었는데, 1%의 KCl 수용액에 비하여 피라미드를 형성하는 결정구조의 모양이 현저하게 증가되었다. 일반 증류수에서 보다 자화수를 용매로 사용한 경우에 대체로 결정체 구조가 치밀하고 더욱 커졌으며, 고배율 관찰에서는 대조군의 증류수에서 보다 자화수에서 피라미드 모양의 결정체가 서로 고리를 이루면서 밀집되어 있었다(Fig. 5).

석고의 결정화 실험. 석고 결정화 양상의 현미경 관

찰에서는, 석고 결정들이 일반 대조군의 증류수를 사용한 group보다 자화수를 사용한 group에서 성체 모양의 결정들의 숫자가 증가되었으며, 결정체의 형태가 더 복잡하고 치밀한 모양으로 나타났다. 또한 image analyzer를 통하여 x200 배율에서 경화 결정체 덩어리의 숫자를 측정한 결과, 일반 증류수를 사용한 경우에는 25.3±4.57개였으나 자화수를 사용한 경우에는 36.8±2.06개로 자화수에서 경화 결정체 덩어리의 숫자가 크게 증가하였다. 고배율 관찰에서는 일반 대조군에서 석고 결정의 작은 crystal들이 산만하게 흩어진 채로 연결되어져 있었는데, 자화수에서는 석고 결정의 작은 crystal들이 서로 밀집되고 고리 모양의 구조로 서로 연결되어진 양상을 보였다(Fig. 6).

총괄 및 고찰

자화수가 일반 증류수와는 다르게 배관의 scale을 감소시키며¹ 각종 동식물의 성장을 촉진한다는 현상학적인 보고가 잘 알려져 있는 반면에, 자화수의 물리화학적 성질을 과학적으로 분석한 연구는 비교적 드물다.²⁸⁻³¹ 한편 김환준은³² 학위논문에서 자화수의 pH, surface tension 등을 관찰하였는데, 일반 증류수와 차이가 나는 유의성을 얻었으나 재연성이 부족하여 정설로 인정을 받지 못하고 있는 실정이고, 여러 연구소에서 자화수의 제조 법이나 자화수의 특성에 관한 연구를 계속하고 있으나, 아직도 자화수가 일반 증류수와는 다르게 나타나는 생물학적인 현상을 설명할 만큼 충분한 연구결과가 이루어지지 않고 있다. 본 연구는 물의 자화기전을 연구하던 중에 물이 자화되는 것은 물분자 자체가 자성을 띠는 것이 아니라, 자기력에 의하여 물분자에 포함되어 있는 수소원자의 양성자(proton)가 쉽게 영향을 받아서 물분자의 배열을 바꾸어 주기 때문으로 추측하고, 물리화학적으로 충분히 변형된 자화수를 제조하기 위해서는 물을 강한 맥동성 자기장에 장시간 노출하여야 한다는 예비 연구 결과를 얻었다(논문 작성중). 따라서 본 연구에서는 이렇게 제조된 자화수의 물리화학적 특성이, 생물학적으로 밀접한 관련성이 있는 이온 물질들과 어떠한 반응성을 보이는가를 알아보기 위한 실험을 수행하였다. 생체 내의 체액에는 무기물 중에서 Na가 가장 풍부하게 존재하는데 주로 세포 외에서 삼투압을 유지하는데 사용되며, K는 세포 내에 풍부하게 존재하면서, 신경대사에 필요한 완충제의 역할을 하는 것으

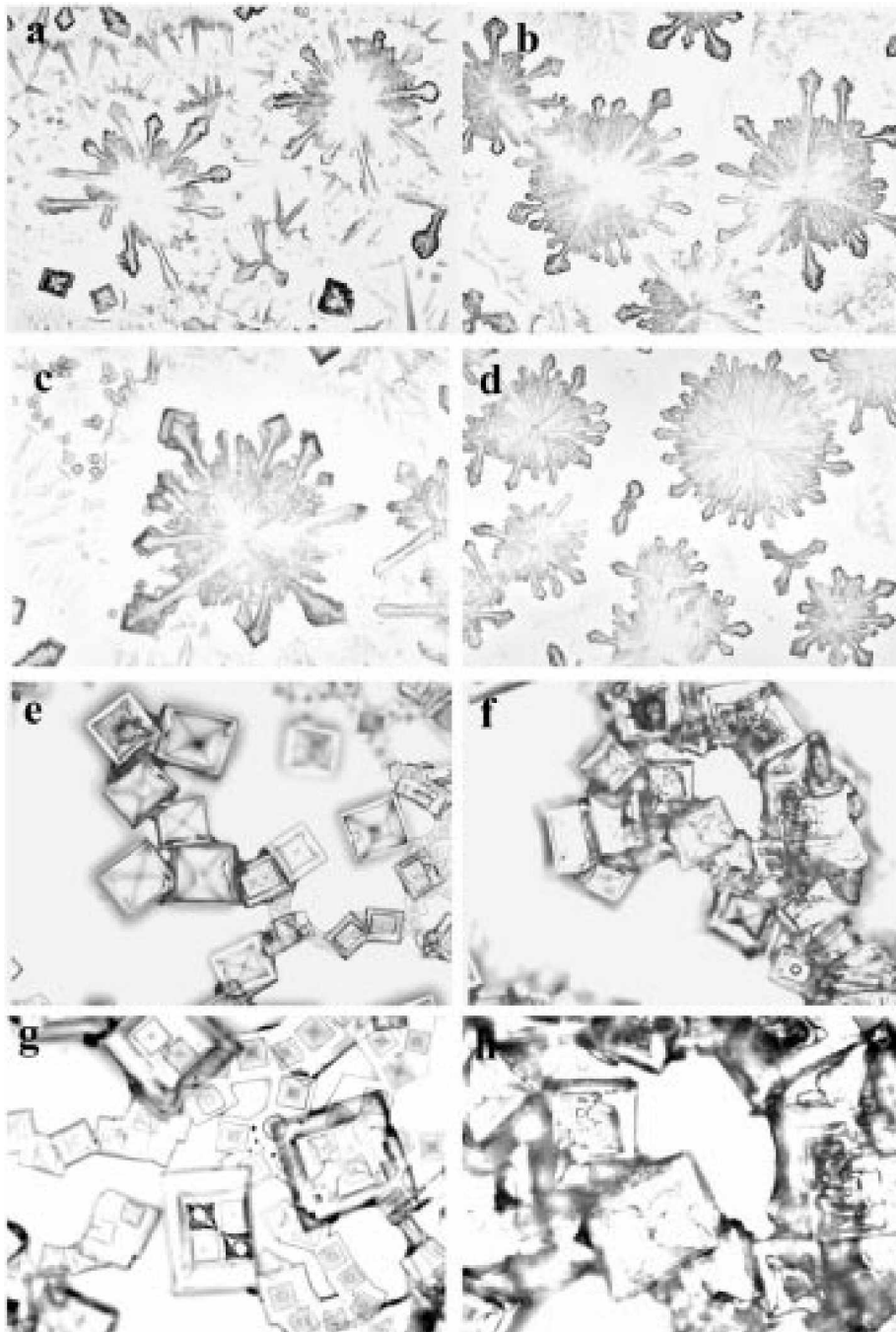


Fig. 4. Crystallization pattern of 1% and 5% NaCl solution intermediated by magnetized water. a,c,e: 1% NaCl in the control water. b,d,f: 1% NaCl in the magnetized water. g: 5% NaCl in the control water. h: 5% NaCl in the magnetized water. The magnetized water produced bigger crystal formation than the control water.

로 알려져 있다.⁷ 다시 말해서 Na⁺와 K⁺는 세포 외와 세포 내에서 서로 다른 특성을 갖고 있다고 설명할

수 있는데, 이들은 모두 직접 신진대사에 사용되어지는 원소가 아니고 단지 체액의 완충성분으로 작용하는 물

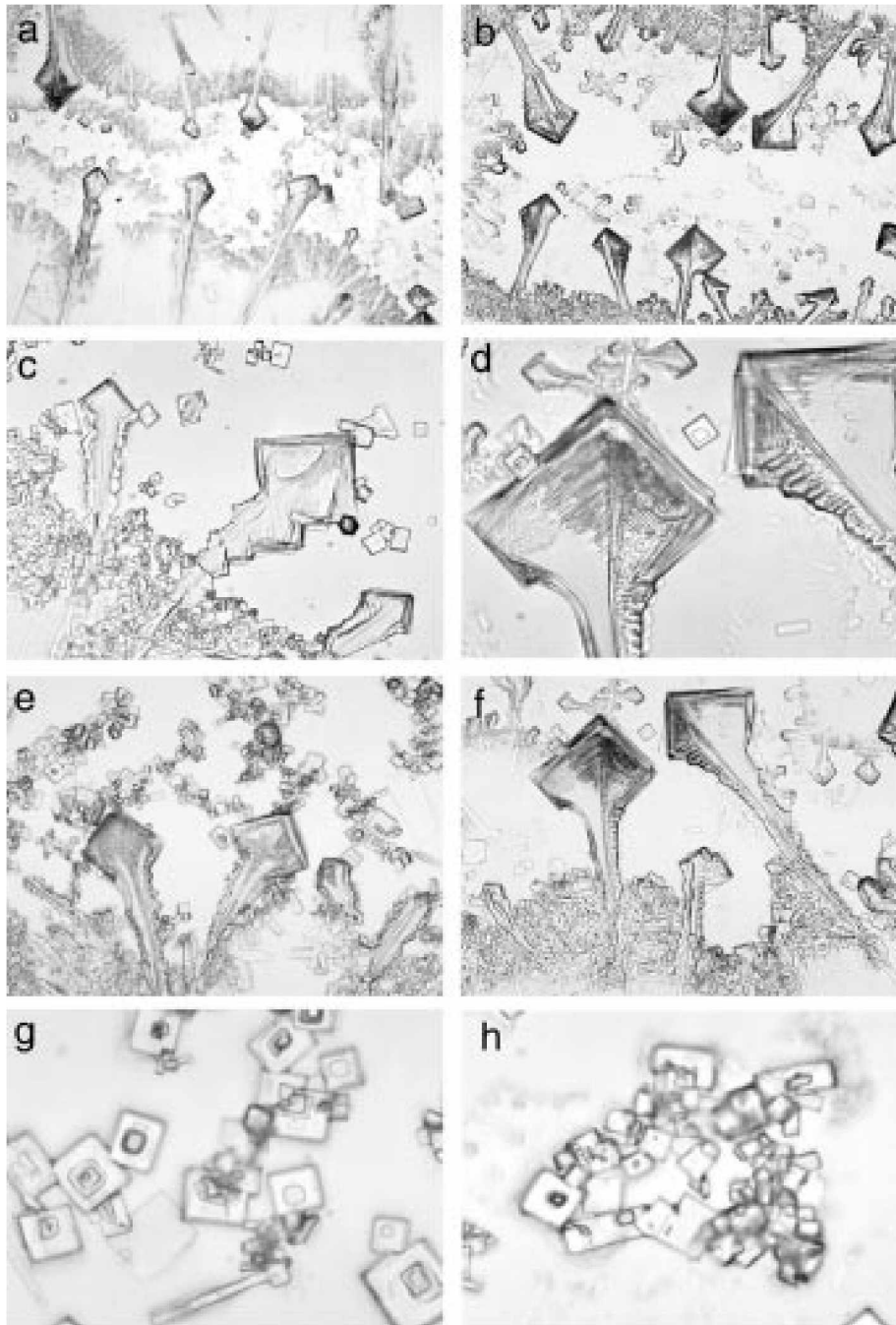


Fig. 5. Crystalization pattern of 1% and 5% KCl solution intermediated by magnetized water. a,c: 1% KCl in the control water. b,d: 1% KCl in the magnetized water. e,g: 5% KCl in the control water. f,h: 5% KCl in the magnetized water. The magnetized water produced compact crystal structure than the control water.

질이므로, Na^- 및 K^+ 와 물분자와의 반응에 대한 연구는 오래 전부터 관심을 모아 왔다. 그러므로 본 연구

에서도, 일반 증류수에 비하여 자화수가 Na^- 와 K^+ 에 대하여 어떠한 반응을 보이는가를 관찰하기 위하여

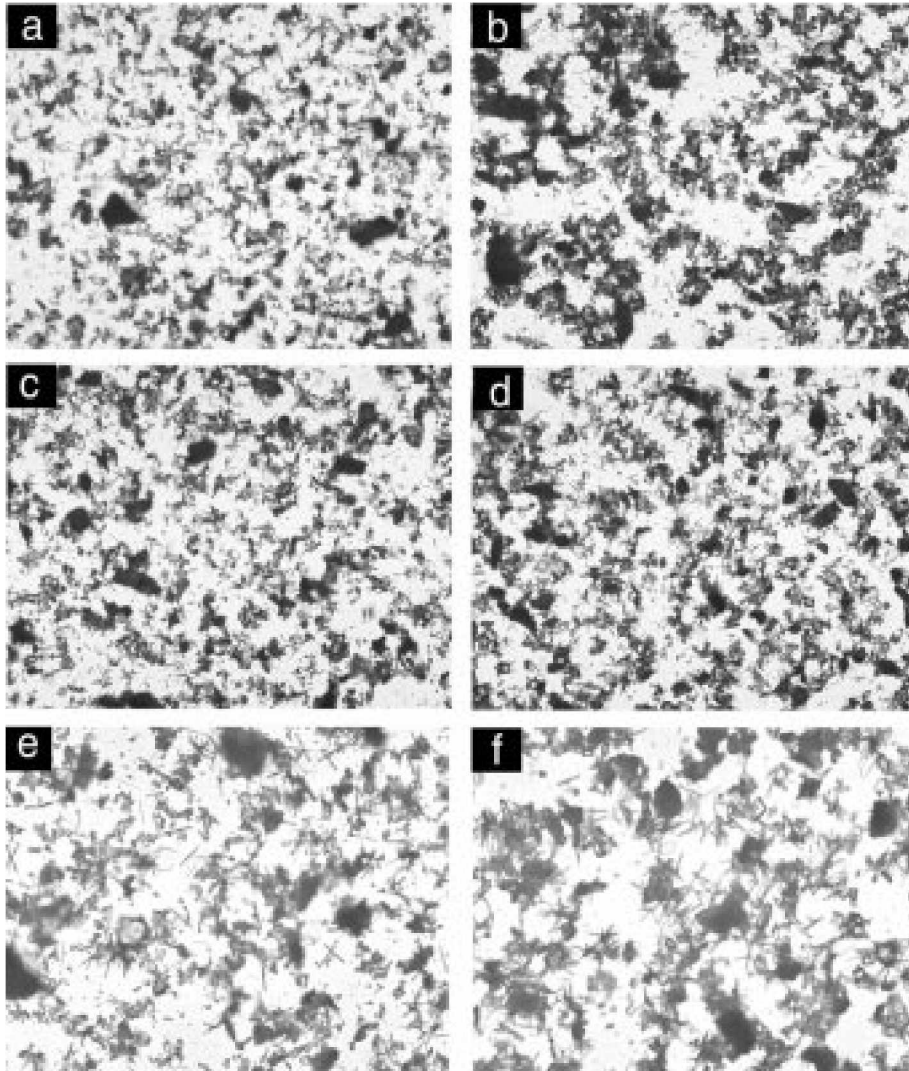


Fig. 6. Crystallization pattern of gypsum intermediated by magnetized water. a,b. control water. a: x100, b: x400, noted the coarse crystal pattern. c,d. magnetized water. c: x100, d: x400, noted the compact crystal pattern. e. control water, x600, needle like crystals were not organized, f. magnetized water, x600, needle like crystals were well organized.

column assay 방법을 사용하였다. 실제로 예비실험에서는, 일반 증류수와 자화수에서 NaCl과 KCl의 최대 용해도를 측정된 결과 차이가 거의 없음을 확인하였으나, 반복된 실험 중에 용해과정에서 보이는 용해속도에는 작은 차이가 있음을 발견하고, 염류의 용해속도를 측정하기 위한 column assay를 고안하게 되었다. 간단히 설명하자면 일정한 조건으로 염류를 용해시키기 위해, Sephadex G-50을 이용해 관류되는 염류의 속도를 줄여서 서서히 녹을 수 있는 환경을 만들어 줌으로써, 관류되

어 나온 fraction들의 염류 농도를 측정해 염류의 용해 속도를 관찰할 수 있는 실험방법이다. 본 실험에서는, 보다 정확한 용해속도를 측정하기 위하여, 동일한 column을 사용해서 일정한 온도 및 조작법을 통하여 20회 이상 반복하여 얻은 자료를 통계 처리하였으므로, 비록 편의상 수동으로 조작하는 새로운 연구 방법이지만, 연구 목적에 부합되는 소량의 결과를 얻을 수 있었다. 결과적으로 일반 증류수에 비하여, 자화수에서 NaCl은 초기 용해속도가 감소된 반면, KCl은 초기 용

해속도가 약간 증가되었다. 그러나 NaCl과 KCl 모두 일반 증류수와 자화수에서 보이는 최대 용해도는 나중 fraction에서 모두 동일한 수준을 보였다. 이는 NaCl이 자화수에 용해될 때 초기에는 일반 증류수에 비하여 용해되기 어려운 상태임을 간접적으로 나타내고, KCl은 자화수에 용해될 때 일반 증류수에 비하여 오히려 용해되기 쉬운 상태임을 간접적으로 나타낸다고 할 수 있다. 일반적으로 용질이 용매에 용해된다는 것은 용질과 용매 분자들이 서로 밀집한 상호반응을 유지할 수 있는 상태를 의미한다. 양이온 성질이 강한 NaCl의 경우, 자화수에 대한 초기 용해속도가 일반 증류수에 비하여 감소되어 나타났다는 사실은, 일반 증류수에 비하여 자화수가 갖는 분자 배열이 NaCl이 용해되기 에 적합하지 않기 때문에, 초기 용해속도가 감소되어져 나타났으나, 계속되는 fraction에서는 다시 NaCl의 용해속도가 증가되어 일반 증류수와 동일한 최대 용해상태를 이루게 되는데, 이는 NaCl의 농도가 증가할수록 강한 양이온인 Na⁺가 물분자를 강하게 잡아 남겨 NaCl이 용해되도록 물분자 배열을 바꾸어 놓기 때문인 것으로 추측된다. 이에 반하여 KCl은 일반 증류수에 비하여 자화수에서 초기의 용해속도가 약간 증가되었는데, NaCl과 마찬가지로 나중 fraction들에서는 일반 증류수와 자화수의 최대 용해도는 거의 일치하였다. KCl이 자화수에서 초기 용해속도가 증가되어 나타난 것은 NaCl과는 반대로, KCl이 일반 증류수에 비하여 자화수의 물분자들과 쉽게 반응할 수 있기 때문인데, 이는 아마도 자화수의 물분자 배열이 일반 증류수의 물분자 배열과 다르게 K⁺이온과 밀접하게 작용되는 상태일 것으로 추측된다.

이와 같이 자화수에서 NaCl과 KCl의 용해속도 차이가 있는 것을 확인하고, 자화수에 대한 여러 다른 염류들의 성질을 파악하기 위하여, NaCl과 KCl외에 CH₃N₂O, HOC(CO₂Na)-(CH₂CO₂Na)₂-2H₂O, (NH₄)₂SO₄, NH₂C(CH₂OH)₂, NH₂CH₂COOH, H₃BO₃, MgSO₄, KH₂PO₄ 등의 무기염류의 용해속도를 측정하였다. 결과적으로 CH₃N₂O, HOC(CO₂Na)-(CH₂CO₂Na)₂-2H₂O, (NH₄)₂SO₄ 등은 NaCl과 마찬가지로 초기 용해속도가 감소되었는데, 이 중에서도 CH₃N₂O의 초기 용해속도가 가장 심하게 감소되었으며 다시 회복되는 시간도 더디게 나타났다. 그리고 NH₂C(CH₂OH)₂, NH₂CH₂COOH, H₃BO₃, MgSO₄ 등은 KCl과 유사하게 자화수에서 초기 용해속도가 증가되었는데 이 중에서 NH₂CH₂COOH는 자화

수 내 초기 용해속도가 가장 크게 증가되었다. 한편 KH₂PO₄는 일반 증류수와 자화수에서의 용해속도가 거의 차이가 없었다. 이와 같이 자화수 내에서 염류의 용해속도를 측정함으로써 자화수가 일반 증류수와는 다른 분자배열을 하고 있다는 것을 짐작할 수 있는데, 생체 내에서 이용되는 각 염류들의 물리화학적 특성과 비교해보면, 자화수가 갖게되는 물분자 배열이 일반 증류수에 비하여 생물학적으로 활성화 상태인가, 또는 반대로 신진대사를 억제하는 비활성화 상태인가를 알 수 있는 간접적인 증거가 될 수 있다. 실제로 신체 내에서 일어나는 대부분의 생화학적 신진대사과정에는 당질, 단백질 및 핵산 등에 물분자가 끼어 들어 가기도 하고 낱질, 단백질 및 핵산으로부터 물분자를 빼어 내는 현상이 있는데, 이러한 수화 및 탈수화 반응을 쉽게 하기 위하여 여러 종류의 완충제가 사용되고 있다. 이 중에는 NH₂CH₂COOH와 같이 당질, 단백질 및 핵산의 구조를 보호해 주는 완충제가 있으며, CH₃N₂O, HOC(CO₂Na)-(CH₂CO₂Na)₂-2H₂O, (NH₄)₂SO₄와 같이 당질, 단백질 및 핵산의 구조를 변성시키는 완충제가 있으므로, 각각 생체대사를 활성화시키거나 억제시키는 효과를 한다고 할 수 있다. 본 연구에서는, column assay를 통하여 자화수와 일반 증류수 각각에서, 각 염류들에 대한 초기 용해속도의 변화를 관찰하였다. 관찰 결과 자화수의 물분자 배열은 일반 증류수의 물분자 배열과 다르다는 것을 간접적으로 나타낼 수 있었으며, 또한 염류 종류의 특성에 따라 자화수는 KCl이나 MgSO₄ 등과 쉽게 반응하여 초기 용해속도를 증가시킬 수 있었는데, 이는 자화수의 물분자 배열이 생물학적으로 중요한 의미가 있음을 암시하는 것으로 생각된다.

자화수의 물분자들이 석고 성분이나 KCl, NaCl 등의 염류와 반응하는 상태들, 이들 염류가 결정화할 때 나타나는 양상으로 관찰할 수 있는데, 이는 결정화 과정에서 가장 안정된 구조를 이루기까지 물분자와의 상호 반응이 계속되기 때문에, 일반 증류수에 비하여 자화수의 물분자 배열이 최종적인 결정 형성에 어떠한 영향을 미치는가를 관찰함으로써 알 아볼 수 있다. 그러나 실제로는, 예를 들어, 1%의 수용액에서 물이 서서히 증발되어 용질이 결정화되는 과정은, 점진적으로 용액의 농도가 증가되는 것과 같으므로(column assay에서 관찰한 바와 같이 용액의 농도가 증가하게 되면, 용질 분자의 작용이 커져, 용해도가 커지는 것과 같이), 자화수가 일반 증류수와 같은 분자배열 상태로 되기

때문에, 자화수가 용질의 결정화에 미치는 영향이 매우 작으리라고 추측된다. 따라서 염류의 용질 결정화를 관찰하는 본 실험에서는, 자화수 고유의 불분자 배열 효과를 최대한 유지시키면서 관찰하기 위해, 용매의 증발 속도를 신속하게 하는 장치를 사용하였다. 우선 용액을 유리 슬라이드에 가능하면 얇게 도말시켰으며, 이 유리 슬라이드를 60°C의 건조 오븐에 들어 있는 60°C의 가열판 위에서 급속하게 증발시켰으므로, 쉽게 결정화를 이루도록 하였다. 이와 같이 급속하게 용액을 증발 시킴으로써 나타나는 결정화에서, 불분자 배열이 용질의 결정화에 어떠한 영향을 미치는가 알아보기 위하여, 용액의 농도를 1%와 5%로 차이를 두어 관찰하였다. 대체로 생체 내의 염류의 농도는 0.8%, 0.9% 정도이므로, 염류용액의 농도가 1%라 함은 비교적 생체 내 염류 완충액의 농도와 비슷한 수준이고, 반면에 염류 농도가 5%라 함은 생체 내 염류 완충액의 농도에 비하여 대단히 높은 수준이므로, 비교 관찰의 의의가 있다고 생각된다. 한편으로, 염류용액의 농도가 10%에 이르면 대부분의 생체 물질이 비화성화 되는 높은 수준의 농도에 이르게 되며, 이 경우에는 자화수의 불분자 배열이 크게 후관되어서 일반 증류수와 같은 불리 화학적 특성을 보일 것으로 예상되어, 10% 농도의 염류용액은 실험에서 제외하였다. 어쨌든, 본 연구의 column assay에서 용해속도의 차이를 보였던 대표적인 염류인 NaCl과 KCl을 사용하여, 1%와 5% 수용액이 급속 증발하여 결정화를 이룰 때 나타나는 결정화 구조를 관찰하였는데, 1%의 수용액과 5% 수용액이 급속 증발할 때 나타나는 결정화가 서로 다르게 나타남을 알 수 있었다. 이것으로부터, 1% 수용액 내에 존재하는 불분자 배열 상태와 5% 수용액 내에 존재하는 불분자 배열 상태가 서로 다른 것을 간접적으로 알 수 있었는데, 이것은 물의 급속 증발 후 나타나는 결정화 양상에 영향을 주었기 때문으로 생각된다. 대체로 1% 수용액이라 할지라도 서서히 증발하면 증발과정에서 농축되어서 5% 수용액이 되기 때문에, 용액이 완전히 증발되었을 때 보이는 결정화 구조에는 큰 차이를 보이지 않게 된다. 그런데 본 실험에 사용된 급속 증발 방법으로 얻은 결정화 구조의 경우, 1% NaCl 수용액은, 증발되는 부위에 따라서 로마 겹 모양, 십자가 또는 창 모양의 결정 구조가 나타났고, 도말표본의 내부에서는 주로 불꽃 모양이 나타났으며 피라미드의 입방체가 간혹 나타났다. 5%의 NaCl 수용액은, 도말

표본의 주변과 내부에서 모두 크고 작은 피라미드 구조의 입방체가 주로 나타났다. 그리고 KCl에서는 다소 차이가 나는 결정 구조를 나타냈는데, 1% 수용액은 도말표본의 주변 경계부위에서 내부로 갈수록 덩불꽃 모양과 창 모양의 결정 구조를 보였으며, 5% 수용액에서도 덩불꽃 모양이나 창 모양의 결정 구조가 입방체의 피라미드와 함께 관찰되었다. 이는 본 연구에서 사용된 급속 증발 방법의 결정화 연구 방법에서, 1%나 5% 용액 내에 존재하는 불분자 배열의 상태에 따라서, 급속증발 시킨 후의 결정화에 서로 상이한 결정체 구조를 보인다는 것을 의미한다. 특히 본 연구의 목적인, 자화수의 불분자 배열이 일반 증류수의 불분자 배열과 어떤 차이가 있으며, 이러한 차이점이 생체 내의 완충물질 등에 어떤 영향을 미치는가를 알아보기 위하여, 일반 증류수에 비하여 자화수가, 1%, 5%의 NaCl과 KCl 수용액의 결정화 구조에 미치는 영향에 관심을 모았다. 결과적으로, 일반 증류수에 비하여 자화수에 용해된 NaCl의 결정화 빈도가 매우 감소되었으나, 결정 구조는 매우 커졌는데 1% NaCl의 경우에는 일반 증류수에 비하여 자화수에서 불꽃 모양이나 십자가 모양, 로마 겹 또는 창 모양의 결정구조의 크기가 증가되었다. 그리고 5% NaCl의 경우에는 일반 증류수에 비하여 자화수에서 입방형의 피라미드 구조의 결정체 크기가 크게 증가되었으며 일반 증류수에서는 피라미드 소결정체의 배열이 넓게 산재되어 있었으나, 자화수에서는 피라미드 소결정체의 배열이 밀집되어 있었다. 한편, KCl에서는 일반 증류수에 비하여 자화수를 사용한 1%와 5% KCl 수용액 모두에서 결정체의 숫자가 약간 증가되어 보였고 크기가 매우 크고 결정체 구조가 매우 치밀하게 밀집된 피라미드 결정체가 관찰되었다. 그러나, 피라미드 소결정체의 배열은 일반 증류수에서는 널리 산재되어 있었으나, 자화수에서는 서로 연결되어 밀집된 형태로 나타났다. 이와 같은 결과를 종합하면, 일반 증류수에 비하여 자화수를 사용한 1%와 5%의 NaCl과 KCl 수용액이 급속 증발 시에 나타나는 결정체 구조에 유의성 있는 차이점이 관찰되었는데, 일반 증류수에 비하여 자화수를 사용한 NaCl 수용액은 점진적으로 커다란 결정체를 형성하였으며 대체로 감소된 결정화 빈도를 보였고, KCl은 일반 증류수에서 보다 자화수를 용매로 사용한 경우에서 결정체의 크기가 크고 결정체의 구조가 더욱 치밀한 양상을 보였다. 이는 column assay에서 자화수가

NaCl의 초기 용해속도를 감소시키는 현상과 관련이 있는데, 특히 자화수를 사용한 1% NaCl 수용액에서 결정화 빈도가 감소된 것은, 일반 증류수에 비하여 자화수는 NaCl과 반응하기 어려운 물분자 배열을 갖고 있으므로, 자화수가 NaCl의 결정화를 방해해서 결정화 빈도가 감소하기 때문인 것으로 추측된다. 한편 KCl은 일반 증류수에 비하여 결정체 크기는 증가되었고 결정 구조도 더욱 치밀하게 나타났으며 결정체의 숫자도 약간 증가되어 보였는데, 이는 column assay에서 KCl이 일반 증류수에서 보다 자화수에서 용해속도가 약간 증가하는 현상과 관련이 있다고 생각된다. 즉, 자화수는 KCl과 밀접하게 작용할 수 있는 분자배열을 하고 있으므로, 1%와 5%의 KCl 수용액의 급속 증발시에 자화수의 물분자가 KCl과 밀접하게 작용해서 KCl 결정체의 크기가 커지고 결정구조가 보다 치밀해졌다고 생각할 수 있다.

석고는 수화반응을 통하여 저질로 경화되는 물질로서 이것이 석회결정체를 만들게 되는데, 이와 같은 물질이 물과 수화반응하는 경우에는 물의 특성을 나타내는 물분자 배열 상태가 중요한 영향을 미치게 된다.^{33,34} 실제로 NaCl과 KCl은, 석고의 수화반응으로 경화되어 지는 속도와 석고의 경도를 조절하기 위하여, 첨가제로 사용되고 있다.³⁵ 본 연구에서는 column assay와 급속 증발 결정화 실험에서, 자화수가 NaCl과 KCl의 염류에 따라 서로 상이한 결과를 보이는 것에 착안하여, 자화수가 석고의 수화반응에 미치는 영향을 관찰하고자 하였다. 일정한 양(약 10 mg)의 석고를 5 μL의 일반 증류수와 자화수 각각에 5초간 교반 막대로 섞은 후, 유리 슬라이드에 도막포를 만들어 현미경으로 관찰하였다. 이러한 실험 방법은 매우 간단하고 재현성이 우수하며 반복시에도 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에서 행한 석고의 수화반응은, 일반 증류수에 비하여 자화수를 사용한 경우에, 경화가 촉진되는 현상이 관찰되었는데, 일반 증류수에서는 석고 소결정체가 불규칙하고 산만하게 흩어져 있었으며 비교적 작은 바늘 모양의 결정체 구조를 이루거나 작은 자갈모양의 소결정체가 뭉쳐진 형태로 나타났는데, 자화수에서는 석고의 소결정체가 서로 밀접하게 연결되어서 성체 모양의 결정체 구조를 많이 보였고 결정체들이 밀집되어 커다란 덩어리를 이루는 결정체 양상이 흔하게 관찰되었다. 따라서 일반 증류수에 비하여 자화수는 석고의

수화반응에 구별되는 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 이는 아마도 자화수의 물분자 배열이 갖는 특징이 석고의 수화반응에 영향을 미친 것으로 생각되며, 자화수가 석고의 수화반응을 촉진시키는 결과는, 비록 석고의 수화반응이 무기물 반응에 불과하지만 한편으로 생물학적인 면에서 매우 의의가 크다고 생각된다.

결론적으로 자화수는, 일반 증류수에 비하여 NaCl과 KCl 각각에 각기 다른 영향을 미쳐서, 이들 염류들의 용해속도와 결정화에 특이한 변화를 나타내게 한다. 또한 일반 증류수에 비하여 자화수는 석고의 수화반응을 촉진시키는 결과가 관찰되었다. 즉, 자화수의 물분자 배열이 NaCl 및 KCl과 상호 반응하여 NaCl인 경우에는 초기 용해속도를 감소시키고 결정화를 억제시키는 효과를 보였으며, KCl인 경우에는 초기 용해속도를 증가시키고 결정화를 가속시키는 효과를 보였다. 그리고 석고의 경화에서는 일반 증류수에 비하여 자화수가 석고의 결정화를 증가시켰으며, 보다 치밀한 구조의 석고 결정화를 만들었다. 이러한 결과들은 모두 일반 증류수에 비하여 자화수는 독특한 물분자 cluster 배열을 하고 있기 때문에,³⁶ 각각의 염류 또는 석고와의 수화반응에 차이를 보인다고 할 수 있다.

결 론

본 연구에서는, 염류의 용해속도가 일반 대조군 증류수와 자화수에서 어떻게 다른가를 조사하였다. 염류의 종류에 따라 용해속도의 차이가 있음을 밝혔으며, 또한 석고 및 NaCl, KCl 에 대하여 1%와 5%의 저농도 염류의 수용액을 만들어 결정화 양상을 관찰하였는데, 결과는 다음과 같다.

1. Column assay를 통한 염류들의 용해도 측정결과, 용해속도의 차이에 따라 수용성 염류들을 세 종류로 나눌 수 있었는데, 첫째 종류는 자화수에 의해 용해속도가 감소되는 염류들, NaCl, HOC(CO₂Na)(CH₂CO₂Na)·2H₂O, CH₃N₂O, (NH₄)₂SO₄, 둘째 종류는 자화수에 의해 용해속도의 변화가 없는 염류, KII₃PO₄, 셋째 종류는 자화수에 의해 용해속도가 증가하는 염류들, KCl, NH₄Cl, COOH, NH₄C(CH₃OH)₂, MgSO₄, H₃BO₃ 이었다.

2. 1%와 5%의 NaCl과 KCl 수용액이 신속하게 증발될 때 나타나는 결정 구조를 관찰하였는데, NaCl의 경우 일반 증류수에서 보다 자화수를 용매로 사용하였

을 때 결정체 숫자는 감소되었지만 결정체의 크기가 현저하게 증가하였으며, KCl의 경우 일반 증류수보다 자화수를 용매로 사용하였을 때 결정체가 훨씬 크고 결정체의 구조도 매우 치밀하였으며 결정화 빈도도 증가되어 나타났다.

3. 석고의 경화 과정에서 나타나는 석고 결정 구조를 관찰하였는데, 일반 증류수에서(25.314.57) 보다 자화수에서 석고의 결정화 빈도가 증가되었고(36.81.2.06), 결정체 구조는 더 치밀하였으며, 자화수를 사용한 석고 결정화 과정에서 결정체들은 서로 고리 모양의 연결 구조를 이루고 있었다.

이상과 같이, 자화수는 대조군의 증류수와 비교해 염류의 용해속도와 석고 및 염류의 결정화에 상이한 결과를 보였는데, 이는 물분자와 염류 또는 석고 사이의 상호반응 차이를 간접적으로 나타내는 것으로, 자화수의 물분자 배열이 일반 증류수의 물분자 배열과 다르게 되어 있어, 자화수가 다른 염류나 석고에 특징적으로 작용한 때문으로 추측된다.

인 용 문 헌

1. Coey, J. M. D.; Cass, S. J. *Magnetism and Magnetic Materials* **2000**, 209, 71.
2. Watt, D. L.; Rosenfelder, C.; Sutton, C. D. *J. Clin. Periodontol.* **1993**, 20(5), 314.
3. Ma, Y. L.; Ren, H.; Ren, S.; Zhen, E. K.; Hao, G.; Zhao, Y. W. *J. Tongji Med. Univ.* **1992**, 12(4), 193.
4. Johnson, K. E.; Sanders, J. J.; Gellin, R. G.; Palesch, Y. Y. *J. Clin. Periodontol.* **1998**, 25(4), 316.
5. Zhang, Y. S.; Wu, H. W. *Z. Urol. Nephrol.* **1987**, 80(9), 517.
6. Higashitani, K.; Oshitani, J. *J. Colloid Interface Sci.* **1998**, 204(2), 363.
7. Stryer, L. *Biochemistry*, 4th edition; W. H. Freeman and Company: New York, 1995.
8. Grueker, D.; Guiberteau, T.; Felancher, B.; Chambron, J.; Chiarelli, R.; Rassat, A.; Subra, G.; Gallez, B. *J. Magn. Reson. B* **1995**, 106(2), 101.
9. Li, J.; Huang, H.; Zhou, M.; Ning, S.; Jiang, X.; Peng, Y.; Zhao, K. *Biochem. Mol. Biol. Int.* **1999**, 47(4), 665.
10. Li, J.; Cheng, H. N.; Nickol, R. G.; Wang, P. G. *Carbohydr. Res.* **1999**, 316(1-4), 133.
11. Rades, T.; Mueller-Goymann, C. C. *Eur. J. Pharm. Biopharm.* **1998**, 46(1), 51.
12. Wiggins, P. M. *Microbiol. Rev.* **1990**, 54(4), 432.
13. Wuthrich, K. *Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol.* **1993**, 58, 149.
14. Cross, T. A.; Tian, F.; Cotten, M.; Wang, J.; Kovacs, F.; Fu, R. *Novartis. Found. Symp.* **1999**, 225, 4.
15. Chang, D. C.; Liu, J. *Cell. Mol. Neurobiol.* **1985**, 5(4), 311.
16. Chang, D. C. *Cell. Biophys.* **1985**, 7(2), 107.
17. Chang, D. C. *Biophys. J.* **1986**, 50(6), 1095.
18. Harder, D. R.; Gebremedhin, D.; Narayanan, J.; Jefcoat, C.; Falck, J. R.; Campbell, W. B.; Roman, R. *Am. J. Physiol.* **1994**, 266(5 Pt 2), H2098.
19. Ulmer, W.; Cornelissen, G.; Halberg, F. *In Vivo* **1995**, 9(4), 363.
20. Fesenko, E. E.; Gluvstein, A. *FEBS Lett.* **1995**, 367(1), 53.
21. Fesenko, E. E.; Geletyuk, V. I.; Kazachenko, V. N.; Chemeris, N. K. *FEBS Lett.* **1995**, 366(1), 49.
22. Fearon, K. L.; Hirschbein, B. L.; Nelson, J. S.; Foy, M. F.; Nguyen, M. Q.; Okruszek, A.; McCurdy, S. N.; Frediani, J. E.; DeDionisio, L. A.; Raible, A. M.; Cagle, E. N.; Boyd, V. *Nucleic Acids Res.* **1998**, 26(16), 3813.
23. Koenig, S. H. *Biophys. J.* **1995**, 69(2), 593.
24. Koenig, B. W.; Bergelson, L. D.; Gawrisch, K.; Ward, J.; Ferretti, J. A. *Mol. Membr. Biol.* **1995**, 12(1), 77.
25. Koenig, S. H. *Acad. Radiol.* **1996**, 3(7), 597.
26. Koenig, S. H. *Invest. Radiol.* **1998**, 33(11), 822.
27. Dobrowolski, J. W.; Smyk, B. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* **1993**, 12(1), 55.
28. Schimmelpfeng, J.; Dertinger, H. *Bioelectromagnetics* **1997**, 18(2), 177.
29. Hazlewood, C. F.; Nichols, B. L.; Chang, D. C.; Brown, B. *Johns Hopkins Med. J.* **1971**, 128(3), 117.
30. Akber, S. F. *Med. Hypotheses* **1997**, 48(1), 71.
31. Akber, S. F. *Eur. J. Radiol.* **1989**, 9(4), 198.
32. Kim, W. G. *Thermodynamic Properties of Magnetized Aqueous Electrolytic Solutions*, ph. D. Thesis, KAIST, 1987.
33. Ingram, G. S.; Horay, C. P.; Stead, W. J. *Cartes Res.* **1992**, 26(4), 248.
34. Tzialas, D.; Economides, N. *J. Endod.* **1999**, 25(8), 539.
35. Craig, R. G. *Restorative Dental Materials*, 9th edition; Mosby Inc.: St. Louis, 1993.
36. Colic, M.; Morse, D. J. *Colloid Interface Sci.* **1998**, 200, 265.