

영구자석의 체적 변화가 자력에 미치는 영향

장 항 익¹⁾ · 황 현 식²⁾

교정치료시 보다 효과적인 치아 이동을 위한 한 방법으로 최근 자석 사용이 고려되고 있다.

영구자석의 체적 변화가 자력에 미치는 영향을 파악하고자 한 쪽에 한 개의 자석을 고정하고 반대쪽 자석의 두께나 넓이를 일정한 비율로 증가시키면서 양측 간에 나타나는 자력을 비교 연구한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 두께를 증가시킨 경우에는 자력이 증가하였으나 넓이를 증가시킨 경우 자력이 오히려 감소하였다.
2. 체적 증가에 따른 자력의 증감은 대수함수 분포 양상을 나타내었다.
3. 두께 증가로 체적을 변화시킨 경우, 같은 두께라도 처음부터 크게 제작한 자석이 작은 자석을 여러 개 합한 것보다 큰 자력을 보였다.

본 연구 결과 구강내에서 자력을 증가시키기 위해서는, 마주보는 자석면은 같게 유지하면서 넓이 증가보다는 두께를 증가시키는 방법이, 그리고 처음부터 두꺼운 자석을 사용하는 것이 보다 효율적임을 알 수 있었다.

(주요단어 : 영구자석의 체적, 자력)

I. 서 론

가장 바람직한 교정력은 환자에게 불편감을 주지 않고 치조골 상실과 치근 흡수와 같은 조직의 손상 없이 가장 빨리 치아를 이동시키는 힘이다¹⁾. 이러한 최적의 교정력을 얻기 위하여 그동안 많은 방법들이 시도되어 왔으며 최근에는 자석 사용이 고려되고 있다.

1953년 Behrman과 Egan²⁾이 보철물의 유지를 위하여 치과영역에 영구자석을 도입한 이래, 교정 영역에서는 Blechman과 Smiley³⁾가 처음으로 고양이의 치아 이동에 aluminium nickel cobalt 자석을 사용하였다.

그러나 이들 초기의 자석은 체적이 크고 물리적 특성이 낮아 사용이 제한되었다. 1970년 Becker⁴⁾는 기

존의 자석에 비해 작은 크기에도 더욱 큰 힘을 내는 samarium-cobalt라는 희토류 자석(rare earth magnet)에 대해 최초로 보고하였고 Kawata등^{5,6)}은 이를 교정 장치에 응용하여 임상에 활용하였다. 1984년에는 다른 종류의 희토류 자석인 neodymium iron boron 자석이 소개되어⁷⁾ 영구자석의 임상 적용이 더욱 활발히 이루어질 수 있게 되었다. 이에 따라 Forced eruption⁸⁻¹²⁾, 구치부의 원심이동¹³⁻¹⁶⁾, 전치부 정중이개의 치료와 이의 보정¹⁷⁾, 골격성 개방교합의 치료¹⁸⁻²⁶⁾, 골격성 제II급 및 제III급 부정교합의 기능적 치료²⁷⁻³¹⁾, 상악골의 확장³²⁻³⁴⁾, corticotomy 수술 후 교정치료³⁵⁾ 등 많은 임상증례에서 영구자석의 사용이 보고 된바 있다.

자석 사이에 작용하는 힘으로는 견인력과 반발력 두 가지 종류가 있으며 이들 두 가지 종류의 힘 모두 클롱의 법칙에 따른다고 알려져 있다³⁶⁾. Cerny³⁷⁾는 samarium-cobalt 자석이 교정 영역에서 임상적으로 사용할 수 있을 정도로 충분한 힘을 갖는가를 알아보

¹⁾ 전남대학교 치과대학 교정학 교실

²⁾ 전남대학교 치과대학 교정학 교실, 조교수

기 위하여 두 영구자석 사이의 거리 및 각도의 변화에 따른 힘을 측정하였고, Von Fraunhofer등³⁸⁾은 거리에 따른 두 samarium-cobalt 자석 사이의 힘을 측정한 결과 자석 사이의 거리가 2mm 이상일 때 전통적인 쿨롱의 법칙이 성립함을 보고하였다. Bondemark와 Kuroi³⁹⁾은 자석을 사용한 상악 구치의 후방 이동 시 자석간 거리와 사용 기간에 따른 자력 변화에 대해 발표하였다.

그러나 지금까지의 자석에 대한 연구는 주로 임상적인 면을 다루고 있고 자석에 대한 기본적인 학문이라 할 수 있는 자력에 대한 연구에 있어서 자석 사이의 거리의 증가에 따른 힘의 변화에 대한 연구만 있다. 그러나 구강내에서 자석을 사용하기 위해서는 체적이 작아야 하는데, 체적 변화에 따른 자력에 대한 연구는 없는 실정이다.

이에 저자는 자석의 체적 변화가 자력에 미치는 영향을 파악하고 동시에 가장 효율적으로 자석을 사용할 수 있는 방법을 알아보고자 희토류 자석 중 최근 교정 영역에서 많이 사용되고 있는 neodymium iron boron 자석을 이용하여 두 자석 사이의 거리를 일정하게 유지한 채 한 쪽은 한 개의 자석을 고정시키고 반대쪽 자석의 두께나 넓이를 일정한 비율로 증가시켜 양측 간에 나타나는 자력을 측정, 비교하고자 본 연구를 시행하였다.

II. 연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

최근에 교정 영역에서 임상적으로 많이 이용되고 있는 희토류 자석 중 neodymium iron boron 자석 (NEO-MAG, 한국마그네트)을 연구 대상으로 선정하였다. 본 연구에 이용된 자석의 특성은 표 1, 2와 같다.

2. 연구 방법

자석의 체적 증가 방법에 따른 자력의 변화를 측정하기 위하여 한 쪽은 기준이 되는 한 개의 자석을 고정시키고 반대쪽 자석의 두께나 넓이를 증가시키는 방법으로 자석의 체적을 변화시켰다. 체적을 증가시키는 방법에는 처음 측정한 것과 동일한 크기의 자석을 하나씩 첨가하는 방법과 큰 자석으로 교환하는 경우의 두 가지가 있으므로 자석을 첨가하여 두께를 증

표 1. Magnetic characteristics of NEO-MAG.

Residual flux density : Br (T)	1.08~1.13
Coercive force : Hc (kA/m)	756~852
Maximum energy product : (BH)max (kJ/m ³)	224~240
Curie temperature (°C)	320
Density (g/cm ³)	7.3~7.5
Hardness (Hv)	500~600

표 2. Physical characteristics of NEO-MAG.

Flexural strength : N/m ²	2.4×10 ⁶
Tensile strength : N/m ²	0×10 ⁷
Compressibility : m ² /N	9.8×10 ⁻¹²
Young's modulus : N/m ²	~1.7×10 ¹¹
Rigidity : N/m ²	0.64
Electrical resistivity : μΩ · m	1.6
Thermal conductivity : Kcal/m · hr°C	7.7
Specific heat : Kcal/Kg°C	0.11

가시키는 경우, 굵은 자석으로 교환하는 경우, 자석을 첨가하여 넓이를 증가시키는 경우 그리고 넓은 자석으로 교환하는 경우의 네 가지로 구분하여 측정하기로 하였다. 이때 반대편 자석의 체적을 증가시키기 위하여 처음 측정한 자석 체적의 10배가 될 때까지 동일한 크기의 자석을, 두께를 증가시키는 양상으로 하나씩 첨가한 10가지 경우를 A군, 굵은 자석으로 계속 교환한 10가지 경우를 B군, 동일한 크기의 자석을 넓이를 증가시키는 양상으로 하나씩 첨가하는 10가지 경우를 C군, 넓은 자석으로 계속 교환한 10가지 경우를 D군으로 하였다(그림 1).

본 연구에서는 직육면체 형태의 자석을 사용하였

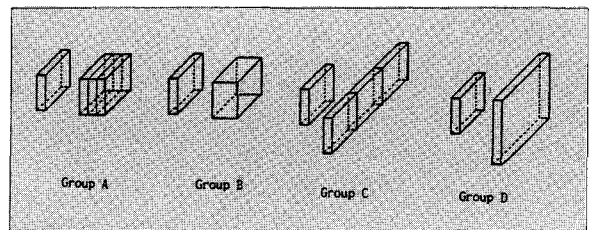


그림 1. Schematic drawing that shows the arrangement of magnets in each group when the volume of the opposite magnet becomes three times the size of the standard magnet.

표 3. The number of the magnets used in this study.

	number (ea.)	width (mm)	length (mm)	height (mm)	volume (mm ³)
magnetic group for A and C	100	6.0	6.0	1.0	36
magnetic group for B	10	6.0	6.0	1.0	36
	10	6.0	6.0	2.0	72
	10	6.0	6.0	3.0	108
	10	6.0	6.0	4.0	144
	10	6.0	6.0	5.0	180
	10	6.0	6.0	6.0	216
	10	6.0	6.0	7.0	252
	10	6.0	6.0	8.0	288
	10	6.0	6.0	9.0	324
	10	6.0	6.0	10.0	360
magnetic group for D	10	6.0	6.0	1.0	36
	10	8.5	8.5	1.0	72
	10	10.4	10.4	1.0	108
	10	12.0	12.0	1.0	144
	10	13.4	13.4	1.0	180
	10	14.7	14.7	1.0	216
	10	15.9	15.9	1.0	252
	10	17.0	17.0	1.0	288
	10	18.0	18.0	1.0	324
	10	19.0	19.0	1.0	360

는데 A, C군의 실험을 위하여 가로와 세로는 6mm, 높이가 1mm인 자석을 100개, B군의 실험을 위하여 가로와 세로는 6mm, 높이는 1mm에서 10mm까지 1mm씩 증가시켜 각각 10개씩, D군의 실험을 위하여 높이는 1mm, 가로와 세로는 A, B, C군의 자석과 체적이 같도록 증가시켜 각각 10개씩 모두 300개의 자석을 제작 하였다(표 3).

두 자석 사이의 거리(air gap)를 일정하게 유지시키고 자력을 정확하게 측정하기 위하여 만능물성실험기(universal testing machine; Instron 4302, Instron Co., England)와 전자저울(MW-1200, CAS Co., Seoul)을 이용하였다. 자석을 위치시키기 위하여 테플론(teflon) 봉을 두 개 사용하여 하나는 전자저울 위에 다른 하나는 만능물성실험기의 이동크로스헤드에 고정할 수 있도록 가공하였다. 자석을 위치시키기 위하여 봉의 마주보는 면에 십자선을 그은 후 전자저울과 이동크로스헤드에 고정하였다. 이동크로스헤드를 전자저울 쪽으로 이동시켜 마주보는 봉의 십자선이 일치하도록 하였다. 이동크로스헤드를 상방으로

이동시킨 후 전자저울 위에 고정된 봉의 십자선 상에 기준 자석을 부착하고 이동크로스헤드에 고정된 봉에 반대편 자석을 부착하였다. 이동크로스헤드를 전자저울 쪽으로 이동시켜 두 자석을 서로 맞닿도록 하여 양쪽 자석 사이의 모서리가 일치되게 하고 만능물성실험기의 크로스헤드 위치 조절 스위치를 조작하여 영점 조정을 시행한 후, 다시 이동크로스헤드를 0.5mm 상방으로 이동시켰다. 이때 전자저울에 나타난 수치를 읽어 양측 간에 나타난 자력을 측정하였다.

각 군의 10가지 경우에 대해 각각 10회 씩 반복 측정한 계측치를 이용하여 평균 및 표준편차를 구하였으며 체적 증가에 따른 각 군에서의 자력의 증감 양상을 비교하기 위하여 't' 검정을 시행하였다.

III. 연구성적

자석을 첨가하여 두께를 증가시킨 A군에서의 자력은 체적이 증가함에 따라 자력이 증가하였으며, 그 양상은 대수함수 분포를 나타내었다. 굵은 자석으로 교

표 4. Mean force and standard deviation in group A,B,C and D.

Group	A	B	C	D
Volume ($\times 36 \text{ mm}^3$)	Mean \pm S.D. (g)	Mean \pm S.D. (g)	Mean \pm S.D. (g)	Mean \pm S.D. (g)
1	130.9 \pm 1.2	130.9 \pm 1.2	130.9 \pm 1.2	130.9 \pm 1.2
2	186.6 \pm 5.4	196.3 \pm 4.3	77.3 \pm 3.9	72.6 \pm 4.2
3	217.8 \pm 4.1	238.8 \pm 4.7	26.7 \pm 2.5	30.0 \pm 1.2
4	242.8 \pm 1.6	267.2 \pm 4.4	10.1 \pm 1.6	-4.1 \pm 3.9
5	255.7 \pm 3.1	280.5 \pm 5.0	7.9 \pm 1.4	-11.2 \pm 4.2
6	266.8 \pm 3.6	292.5 \pm 4.0	4.3 \pm 1.3	-11.6 \pm 3.8
7	275.7 \pm 3.5	297.1 \pm 4.0	2.7 \pm 0.6	-1.8 \pm 1.4
8	285.0 \pm 1.7	303.1 \pm 3.7	0.5 \pm 0.4	-5.9 \pm 1.9
9	291.7 \pm 3.3	304.9 \pm 1.5	-3.5 \pm 0.8	-7.9 \pm 2.3
10	294.8 \pm 2.9	306.6 \pm 6.1	-5.4 \pm 1.4	-7.7 \pm 0.9

S.D. : standard deviation

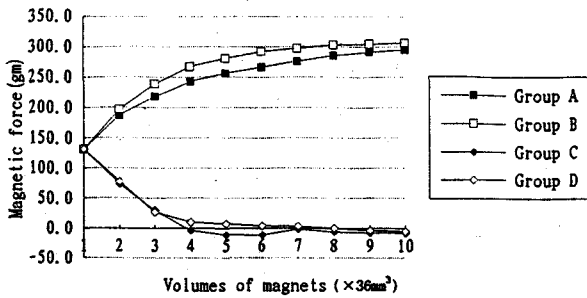


그림 2. Magnetic force changes caused by volumes of magnets.

환한 B군에서의 자력도 체적이 증가함에 따라 자력이 증가하였으며 그 양상 또한 대수함수 분포를 나타내었다. 자석을 첨가하여 넓이를 증가시킨 C군에서의 자력은 체적이 증가함에 따라 자력이 감소하였으며, 넓은 자석으로 교환한 D군에서의 자력도 체적이 증가함에 따라 자력이 감소하였다(표 4, 그림 2).

힘이 증가한 A, B군 사이와 힘이 감소한 C, D군 사이에 각각 유의한 차이가 나타나는지 알아보기 위하여 't' 검정을 시행한 결과 A군과 B군 사이에는 유의한 차이가 나타났고($p < 0.05$), C군과 D군 사이에는 유의한 차이가 나타나지 않았다(표 5, 6).

IV. 총괄 및 고찰

1978년 Blechman과 Smiley³⁾에 의해 교정 영역에 도입된 영구자석은 교정력으로 이용할 수 있다는 점

표 5. Comparison between the group A and B

Group	Mean force (g)	S.D.	Probability
A	244.78	50.32	0.024
B	261.78	55.29	

표 6. Comparison between the group C and D.

Group	Mean force (g)	S.D.	Probability
C	25.16	42.34	0.272
D	18.32	45.44	

외에 다른 부가적인 장점들이 영구자석의 임상적인 이용을 촉진시키고 있다. Kawata등⁴⁰⁾은 자석의 힘이 치아를 직접 움직이는 것 이외에 부가적으로 electrocurrent를 발생시켜 치조골을 개조시킨다고 하였다. Davidovitch등⁴¹⁾은 자석이 구강 내에 삽입되면 타액이 전해질로 작용하여 치주인대 내에 microcurrent를 발생하여 조직을 자극하는데 기여하는 것으로 보고하였다. 또한 구강 내에서 자석의 운동에 따라 pulsating electromagnetic field가 발생하여 혈류를 증가시키고 골 대사를 촉진시킨다고 보고되었다⁴²⁻⁴⁴⁾ 정형외과 영역에서는 전자기장이 골형성을 촉진시켜

파절된 골의 치유에 도움이 된다는 보고가 있으며⁴⁵⁻⁴⁶⁾, 최근 McDonald⁴⁹⁾는 치아 이동 동안 골 개조에 관계되는 섬유아세포를 실험하여 자기장이 섬유아세포의 증식을 야기해 골 치유와 창상 치유를 증진시킨다고 발표하였다.

또한 자석에 의한 자기장의 조직에 대한 생물학적 안전성에 대한 많은 논문들이 발표되어 자석의 이용을 가속화시켰다. 초기에는 자기장에 의한 생물학적 부작용이 발표되기도 했지만⁵⁰⁻⁵⁴⁾, 최근에는 자석이 생물학적으로 안전하다는 연구 보고가 주를 이루고 있다.^{3,18,55-62)} 특히 Dellinger¹⁸⁾에 의해 고안된 Active Vertical Corrector 장치는 생물학적 안정성을 바탕으로 미국 식품 의약품국(FDA)에서 장치의 고안, 제조 방법, 효과 등이 공인되었다. 1987년에는 미국 식품 의약품국에서 희토류 자석인 samarium-cobalt와 neodymium iron boron 자석의 구강 내 사용을 허가하였다.⁵⁹⁾

그동안 치과 영역에 이용되어 왔던 자석은 영구자석으로, alnico, ferrite, platinum-cobalt, samarium-cobalt(SmCo_5 , $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$), neodymium iron boron ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$) 자석 등이 있다. alnico, ferrite, platinum-cobalt 등의 초기 자석은 크기가 크고 자력이 약하며 물리적 특성도 낮아 사용이 제한되었다. 이에 더욱 강력한 자석에 대한 요구로 희토류 자석인 samarium-cobalt 자석이 보고된 바 기존의 자석보다 자력이 강하고 물리적 특성이 우수해 치과 영역에서 적절히 이용할 수 있게 되었다. 최근에는 samarium-cobalt 자석보다 물리적 특성이 우수하고 자력도 더 높은 neodymium iron boron 자석이 발표되어 임상에 광범위하게 이용되고 있다.

자석 사이에 작용하는 힘으로는 견인력과 반발력 두 가지 종류가 있으며 자석간에 작용하는 힘은 쿨롱의 법칙에 따른다고 알려져 있다.³⁶⁾ Cerny³⁷⁾는 samarium-cobalt 자석이 교정 영역에서 임상적으로 사용할 수 있을 정도로 충분한 힘을 갖는가를 알아보기 위하여 두 영구자석 사이의 거리 및 각도의 변화에 따른 힘을 측정하여 임상에 이용할 수 있을 정도로 충분하다고 보고하였고 Von Fraunhofer³⁸⁾은 거리에 따른 samarium-cobalt 자석 사이의 힘을 측정 한 결과 자석 사이의 거리가 2mm 이상일 때 전통적인 쿨롱의 법칙이 성립함을 보고하였다. Bondemark와 Kurol³⁹⁾은 상악 구치의 후방 이동에 사용되고 있는 자석의 거리에 따른 자력을 측정한 결과 거리의 제곱에 반비례함을 보고하였으며, 더불어 5개월간 계

속적인 자력을 발휘한 후 자력의 변화에 대한 연구에서 유의한 차가 없음을 발표하였다.

체적 변화가 자력에 미치는 영향에 대한 본 연구에서는 두께를 증가시켜 자석의 체적을 증가시킨 경우에는 자력이 증가하였으나 넓이를 증가시킨 경우 자력이 오히려 감소하였다. 두께를 증가시키는 방법으로 체적을 증가시킨 경우 자석의 자기력선이 이에 비례하여 증가함으로써 쿨롱의 법칙에 따라 자력이 증가하였다. 반대로 넓이를 증가시킨 경우에는 자력이 감소하였는데 이는 양측 자석의 넓이가 동일하지 않은 경우, 넓이가 증가됨에 따라 반발력이 점차 견인력으로 바뀌어 나타난 것으로 McCaig⁶³⁾의 언급을 실험적으로 입증하는 결과를 보였다. 넓이의 증가로 발생하는 자기력선의 양은 증가하였으나 반대편 자석과 마주보지 않는 부분 즉 가장자리 부분의 자기력선이 오히려 반작용을 야기해 자력의 감소를 가져온 것이므로, 제한된 공간을 가진 구강내에서 자력을 증가시키기 위해서는 마주보는 자석면은 같게 유지하면서, 넓이 증가보다는 두께를 증가시키는 방법을 쓰는 것이 효율적임을 알 수 있었다.

체적 증가에 따른 자력의 증감을 살펴본 결과 대수 함수 분포 양상을 나타내었다. 즉 자력이 체적 증가에 정비례 관계로 증가하지 않고 곡선으로 변하였다. 이는 자석을 제조하기 위하여 철을 자기장 하에 위치시킨 후 자기장을 제거하였을 때 철이 갖는 자화 곡선(magnetization curve)과 유사한 곡선을 나타내므로⁶⁴⁾ 이들 두 가지의 연관성에 대한 연구가 필요하리라 생각된다.

두께 증가로 체적을 변화시킨 경우, 보다 효율적인 자력 증가 방법을 알아보기 위하여 처음부터 두꺼운 자석을 사용하는 경우와 두께가 작은 자석을 여러 개 사용할 경우의 힘을 비교한 결과 같은 두께라도 처음부터 두껍게 제작한 자석이 작은 자석을 여러 개 사용한 경우 보다 자력이 크게 나타났다. 따라서 구강내에서 체적을 작게 유지하면서 필요한 자력을 얻기 위해서는, 작은 자석을 여러 개 쓰는 것보다 처음부터 두꺼운 자석을 사용하는 것이 효율적임을 알 수 있었다.

본 연구를 통하여 나타난 여러 가지 결과는 차후 임상에서 자석을 이용한 교정 장치 고안에 큰 도움이 되리라 사료된다. 그러나 본 연구에서는 한가지 종류의 자석을 대상으로 체적 증가에 의한 자력 변화를 살펴본 바 보다 다양한 자석을 대상으로 체적 감소에 따른 변화를 포함한 지속적인 연구가 필요하리라 생각된다.

V. 결 론

영구자석의 체적 변화가 자력에 미치는 영향을 파악하고자 한 쪽에 한 개의 자석을 고정하고 반대쪽 자석의 두께나 넓이를 일정한 비율로 증가시키면서 양측 간에 나타나는 자력을 비교 연구한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 두께를 증가시킨 경우에는 자력이 증가하였으나 넓이를 증가시킨 경우 자력이 오히려 감소하였다.
2. 체적 증가에 따른 자력의 증감은 대수함수 분포 양상을 나타내었다.
3. 두께 증가로 체적을 변화시킨 경우, 같은 두께라도 처음부터 크게 제작한 자석이 작은 자석을 여러 개 합한 것보다 큰 자력을 보였다.

본 연구 결과 구강내에서 자력을 증가시키기 위해서는, 마주보는 자석면은 같게 유지하면서 넓이 증가보다는 두께를 증가시키는 방법이, 그리고 처음부터 두꺼운 자석을 사용하는 것이 보다 효율적임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Graber, T.M. and Vanarsdall, R.L. : Orthodontics : current principles and techniques. St Louis : CV Mosby, 1994 : 245-246.
2. Behrman, S.J. and Egan, G. : Implantation of magnets in the jaw to aid denture retention, N. Y. State D. J., 19 : 353-355, 1953.
3. Blechman, A.M. and Smiley, H. : Magnetic force in orthodontics, Am. J. Orthod., 74 : 435-443, 1978.
4. Becker, J.J. : Permanent magnets, Sci. Am., 233 : 92-100, 1970.
5. Kawata, T., Matsuga, M., Kitano, N. and Kishigami, H. : Further study of new orthodontic treatment with a magnetic appliance. J. Dent. Res., 57 : 175(abstract 402), 1978.
6. Kawata, T. and Matsuga, M. : A study of new orthodontic treatment by means of magnet, J. Dent. Res., 58-2 : 1292(abstract 46), 1979.
7. Robinson, A.L. : Powerful new magnet material found, Science, 223 : 920-922, 1984.
8. Sandler, P.J., Meghji, S., Murray, A.M., Springate, S.D., Sandy, J.R., Crow, V. and Reed, R.T. : Magnets and orthodontics, Br. J. Orthod., 16 : 243-249, 1989.
9. McCord, J.F. and Harvie, H. : An alternative treatment of anterior teeth fractured beneath the gingival margin, Br.

- Dent. J., 157 : 320-322, 1984.
10. Vardimon, A.D., Graber, T.M., Drescher, D. and Bourauel, C. : Rare earth magnets and impaction, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 100 : 494-512, 1991.
11. Sandler, P.J. : An attractive solution to unerupted teeth, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 100 : 489-493, 1991.
12. Sandler, P.J. and Springate, S.D. : Unerupted premolars - An alternative approach, Br. J. Orthod., 18 : 315-321, 1991.
13. Gianelly, A.A., Vaitas, A.S., Thomas, W.M. and Berger, D.G. : Distalization of molars with repelling magnets, J. Clin. Orthod., 22 : 40-44, 1988.
14. Gianelly, A.A., Vaitas, A.S. and Thomas, W.M. : The use of magnets to move molars distally, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 96 : 161-167, 1989.
15. Itoh, T., Tokuda, T., Kiyosue, S., Hirose, T., Matsumoto, M. and Chaconas, S.J. : Molar distalization with repelling magnets, J. Clin. Orthod., 25 : 611-617, 1991.
16. Bondemark, L. and Kurol, J. : Distalization of maxillary first and second molars simultaneously with repelling magnets, Eur. J. Orthod., 14 : 264-272, 1992.
17. Springate, S.D. and Sandler, P.J. : Micro-magnetic retainers : an attractive solution to fixed retention, Br. J. Orthod., 18 : 139-141, 1991.
18. Dellinger, E.L. : A clinical assessment of the Active Vertical Corrector - A nonsurgical alternative for skeletal open bite treatment, Am. J. Orthod., 89 : 428-436, 1986.
19. Woods, M.G. and Nanda, R.S. : Intrusion of posterior teeth with magnets : An experiment in growing baboons, Angle Orthod., 58 : 136-150, 1988.
20. Woods, M.G. and Nanda, R.S. : Intrusion of posterior teeth with magnets : An experiment in nongrowing baboons, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 100 : 393-400, 1991.
21. Kalra, V., Burstone, C.J. and Nanda, R. : Effects of a fixed magnetic appliance on the dentofacial complex, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 95 : 467-478, 1989.
22. Barbre, R.E. and Sinclair, P.M. : A cephalometric evaluation of anterior open bite correction with the magnetic active vertical corrector, Angle Orthod., 61 : 93-102, 1991.
23. Kiliaridis, S., Egermark, I. and Thilander, B. : Anterior open bite treatment with magnets, Eur. J. Orthod., 12 : 447-457, 1990.
24. Kuster, R. and Ingervall, B. : The effect of treatment of skeletal open bite with two types of bite-blocks, Eur. J. Orthod., 14 : 489-499, 1992.
25. Vardimon, A.D., Bourauel, C., Drescher, D. and Schmutz, G.P.F. : 3-D force and moment analysis of repulsive magnetic appliances to correct dentofacial vertical excess, J. Dent. Res., 73 : 67-74, 1994.
26. 김승철, 유영규 : 영구자석을 이용한 교양이 구치부 intrusion에 관한 초기 조직학적 연구, 대한치교정학회지,

- 20(1) : 169-181, 1990.
27. Vardimon, A.D., Stutzmann, J.J., Graber, T.M., Voss, L.R. and Petrovic, A.G. : Functional orthopedic magnetic appliance(FOMA) II - Modus operandi, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 95 : 371-387, 1989.
 28. Vardimon, A.D., Graber, T.M., Voss, L.R. and Muller T. P. : Functional orthopedic magnetic appliance(FOMA) III - Modus operandi, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 97 : 135-148, 1990.
 29. Darendeliler, M.A. and Joho, J.P. : Case report : Class II bimaxillary protrusion treated with magnetic forces, J. Clin. Orthod., 26 : 361-368, 1992.
 30. Darendeliler, M.A. and Joho, J.P. : Magnetic activator device II(MAD II) for correction of Class II, division 1 malocclusions, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 103 : 223-239, 1993.
 31. Darendeliler, M.A., Chiarini, M. and Joho, J.P. : Case report : Early class III treatment with magnetic appliances, J. Clin. Orthod., 27 : 563-569, 1993.
 32. Vardimon, A.D., Graber, T.M., Voss, L.R. and Verrusio, E. : Magnetic versus mechanical expansion with different force thresholds and points of force application, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 92 : 455-466, 1987.
 33. Vardimon, A.D., Graber, T.M. and Voss, L.R. : Stability of magnetic versus mechanical palatal expansion, Eur. J. Orthod., 11 : 107-115, 1989.
 34. 이원유, 장지철, 김형돈, 한부석 : 자석의 견인력을 이용한 상악골 확대 장치의 효과, 대한치과교정학회지, 21(3) : 603-614, 1991.
 35. Hwang, H.S. and Vanarsdall, R.L. : Intrusion of over-erupted molar with corticotomy and magnets, Int. J. Adult Orthod. Orthog. Surg.(in press)
 36. 박승범, 이창효 : 알고 보면 재미나는 전기 자기학, 전과과 학사, 101-105, 1993.
 37. Cerny, R. : Magneto-orthodontics : The application of magnetic forces to orthodontics, Austr. Orthod. J., 5 : 105-113, 1978.
 38. Von Fraunhofer JA., Bonds, P.W. and Johnson, B.E. : Force generation by orthodontic samarium-cobalt magnets, Angle Orthod., 62 : 191-194, 1992.
 39. Bondemark, L. and Kurol, J. : Force-distance relation and properties of repelling Sm-Co₅ magnets in orthodontic clinical use : an experimental model, Scand. J. Dent. Res., 100 : 228-231, 1992.
 40. Kawata, T., Hirota, K., Surjitani, K., Umehara, K., Yano, K., Tzeng, H.J. and Tabuchi, T. : A new orthodontic force system of magnetic brackets, Am. J. Orthod., 92 : 241-248, 1987.
 41. Davidovitch, Z., Shanfeld, J.L., Montgomery, P.C., Lally, E., Laster, L., Furst, L. and Korostoff, E. : Biochemical mediators of the effects of mechanical forces and electric currents on mineralized tissues, Calcif. Tissue Int., 36 : S86-S97, 1984.
 42. Bassett, C.A.L., Pilla, A.A. and Pawluk, R.J. : A non-operative salvage of surgically-resistant pseudoarthroses and non-unions by pulsing electromagnetic fields, Clin. Orthop. Related Res., 124 : 128-143, 1977.
 43. Colacicco, G. and Pilla, A.A. : Electromagnetic modulation of biological processes : Influence of culture media and significance of methodology in the Ca-uptake by embryonal chick tibia in vitro, Calcif. Tissue Int., 36 : 167-184, 1984.
 44. Gerling, J.A., Sinclair, P.M. and Roa, R.L. : The effect of pulsating electromagnetic fields on condylar growth in guinea pigs, Am. J. Orthod., 87 : 211-223, 1985.
 45. Bassett, C.A.L., Mitchell, S.N. and Gaston, S.R. : Pulsing electromagnetic field treatment in ununited fractures and failed arthrodeses, J. A. M. A., 247 : 623-628, 1982.
 46. De Haas WG., Watson J. and Morrison D.M. : Non-invasive treatment of ununited fractures of the tibia using electrical stimulation, J. Bone Joint Surg. 62B : 465-470, 1980.
 47. Marcer, M., Musatti, G. and Bassett, C.A.L. : Results of pulsed electromagnetic fields(PEMFs) in ununited fractures after external skeletal fixation, Clin. Orthop. Related Res., 190 : 260-265, 1984.
 48. Borsalino, G., Bagnacani, M., Bettati, E., Fornaciari, F., Rocchi, R., Uluhogian, S., Ceccherelli, G., Cadossi, R. and Traina, G.C. : Electrical stimulation of human femoral intertrochanteric osteotomies, Clin. Orthop. Related Res., 237 : 256-263, 1988.
 49. McDonald, F. : Effect of static magnetic fields on osteoblasts and fibroblasts in vitro, Bioelectromagnetics, 14 : 187-196, 1993.
 50. Mulay, I.L. and Mulay, L.N. : Effect of a magnetic field on Sarcoma 37 ascites tumor cells, Nature, 190 : 1019, 1961.
 51. Reno, V.R. and Nutini, L.G. : Effect of magnetic fields on tissue respiration, Nature, 198 : 204-205, 1963.
 52. Malinin, G.I., Gregory, W.D., Morelli, L., Sharma, V.K. and Houck, J.C. : Evidence of morphological and physiological transformation of mammalian cells by strong magnetic fields, Science, 194 : 844-846, 1976.
 53. Linder-Aronson, S. and Lindsog, S. : A morphometric study of bone surfaces and skin reactions after stimulation with static magnetic fields in rats, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 99 : 44-48, 1991.
 54. Linder-Aronson, A., Lindsog, S. and Rygh, P. : Orthodontic magnets : effects on gingival epithelium and alveolar bone in monkeys, Eur. J. Orthod., 14 : 255-263, 1992.
 55. Blechman, A.M. : Magnetic force systems in orthodontics : Clinical results of a pilot study, Am. J. Orthod., 87 : 201-210, 1985.

56. Tsutsui, H., Kinouchi, Y., Sasaki, H., Shiota, M. and Ushita, T. : Studies on the Sm-Co magnet as a dental material, *J. Dent. Res.*, 58 : 1597-1606, 1979.
57. Cerny, R. : The reaction of dental tissues to magnetic fields, *Austr. Dent. J.*, 25 : 264-268, 1980.
58. Altay, O.T., Kutkam, T., Koseoglu, O. and Tanyeri, S. : The biological effects of implanted magnetic fields on the bone tissue of dogs, *Int. J. Oral. Maxillofac. Implants*, 6 : 345-349, 1991.
59. Jackson, T.R. and Healey, K.W. : Rare earth magnetic attachments : the state of the art in removable prosthodontics, *Quintessence Int.*, 18 : 41-51, 1987.
60. Camilleri, S. and McDonald, F. : Static magnetic field effects on the sagittal suture in *Rattus Norvegicus*, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 103 : 240-246, 1993.
61. Vardimon, A.D., Graber, T.M., Stutzmann, J., Voss, L. and Petrovic, A.G. : Reaction of the pterygomaxillary fissure and the condylar cartilage to intermaxillary Class III magnetic mechanics, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 105 : 401-413, 1994.
62. Bondemark, L., Kurol, J. and Wennberg, A. : Biocompatibility of new, clinically used, and recycled orthodontic samarium-cobalt magnets, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 105 : 568-574, 1994.
63. 김광윤 외 : CULLITY 자성재료학, 반도출판사, 1992 : 797-802.
64. 나카무라 히로시 : 자석의 ABC; 자침에서부터 초전도자석까지, 전파과학사, 1992 : 45-58.

-ABSTRACT-

EFFECTS OF THE CHANGES OF THE MAGNETIC VOLUME ON THE MAGNETIC FORCES

Hang-Ik Jang, D.D.S., Hyeon-Shik Hwang, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Chonnam National University

Recently, magnetic forces are considered as a method for more efficient tooth movement.

The purpose of this study was to evaluate the effects of the changes of the magnetic volume on the magnetic forces. The universal testing machine and the electronic balance were used for the exact measurement of the force with constant air gap. While the magnet was kept same on one side, the magnetic volume of the other side was increased gradually in four manners. In the first group, the thickness was increased by adding same size of the magnets one after another while the thickness was increased by changing with a thicker magnet gradually in the second group. In the third group, the width was increased by adding same size of the magnets while the width was increased by changing with a wider magnet gradually in the last group.

The results were as follows :

1. With the increase of the thickness, the magnetic force increased, while the magnetic force decreased with the increase of the width.
2. The magnetic force according to the change of the magnetic volume showed the distribution of the logarithmic function.
3. An originally thick magnet showed larger force than the added magnets although both of them had same volume.

KOREA. J. ORTHOD. 1995 ; 25 : 201-208

*Key words : Magnetic volume, Magnetic force