

## 철골에 의한 지자기 교란

송승한 · 이문호 · 배성호 · 신현진

영남대학교 응용전자학과, 생체의용전자연구소

(2000년 11월 6일 받음, 2000년 12월 5일 최종수정본 받음)

건축물내 바닥면에서의 지자기장 분포에 대한 모사실험과 측정을 통하여 철골이 지자기의 분포에 미치는 영향을 연구하였다. 지자기 분포에 대한 모사시험은 유한요소법으로 수행하였으며, 바닥면에서 지자기장의 수직분력(Z)은 플럭스 게이트형 마그네토미터로 측정하였다. 수평으로 배열된 철골은 지자기장의 Z 성분 분포에 미치는 영향이 비교적 적으나, 수직으로 배열된 철골은 Z의 분포에 강한 영향을 주어 국소 지자기 교란을 일으킨다. 이러한 국소 지자기 교란은 연자성체로 이루어진 바닥이나 우회로 구조를 가지는 연자성체 바닥으로 완화된다.

### I. 서 론

지구 자기장(혹은 지자기장)의 변화는 태양활동과 관련된 지구 외적인 요인과 지구 내적인 요인으로 나눌 수 있다. 태양흑점이나 코로나의 활동에 의해 태양풍(solar wind)의 상태가 변하면 지구의 전리층이 교란되는 지자기 폭풍(geomagnetic storm)이 발생한다. 지자기 폭풍은 수 시간에서 5일 가량 지속되며, 지자기의 일변화보다 높은 변화속도(주파수)를 가지고, 지구자기장의 수평분력(H)을 0.1-0.3 mG (mili-Gauss) 가량 교란시킨다. 지자기 폭풍은 레이더와 같은 무선통신에 장애를 일으킬 뿐만 아니라 인체의 활성에도 많은 영향을 미치는 것으로 보고되어있다 [1]. 1963년에 H. Friedman 등은 4년 동안 Syracuse시 (N.Y., USA) 소재의 두 정신병원에 입원하는 환자와 지자기지수와와의 관계를 조사하였으며, Y. S. Nikolaev 등은 1976년에 러시아 정신병원에서 지자기 변화에 따른 정신 질환 신드롬 지수를 측정함바 있다[2, 3]. 이 두 연구 결과에서 지자기지수의 변화와 정신질환자의 수 또는 신드롬 지수의 변화가 거의 일치하였다. 이 외에도 지자기 폭풍에 의한 지자기 변화가 인체에 영향을 미친다는 많은 연구결과들이 발표된 바 있다[4-6].

한편, 지각의 구조, 즉 지층이나 지하광물, 석유, 가스층, 지하수 등에 의해서도 지자기장의 분포가 부분적으로 교란된다[1, 7-8]. 특히, 부분적으로 투자율(magnetic permeability)의 분포가 균일하지 못하면 자속밀도(magnetic flux density)의 분포도 균일하지 못하게 되는 국소적인 지자기 교란이 발생한다. 이와 같은 이유로, 철근을 사용하여 만든 시멘트 건축물이나 구조물의 경우에 강자성(ferromagnetism)을 띠는 철근에 의하여 공간적으로 국소

지자기 교란이 발생한다. 이러한 국소 지자기 교란은 태양풍에 의한 지자기의 교란의 최소 수 십배로부터 최고 수 천배에 이르는 것으로 조사된 바 있다[9].

직류가 아닌 교류의 높은 전류가 흐르는 여러 종류의 전력활용 시스템이나 전력 케이블에 의하여 발생한 강한 교류 자기장이 전자소자(electronic devices)와 인간의 건강에 지대한 영향을 미친다는 사실은 이미 잘 알려진 사실이다[10]. 많은 연구자들이 이미 건물내의 강한 교류 자기장을 차단할 수 있는 다양한 방법을 제시한 바 있으며, 최근까지도 많은 연구결과들이 보고되어 있다 [11-13].

그러나, 아직 건축물이나 구조물에서의 직류 자기장 분포에 대한 연구나, 자기장의 교란을 억제할 수 있는 방법, 또는 직류 자기장의 교란이 인체의 활성에 미치는 영향 등에 관한 연구결과는 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 건축물내의 철근이 지자기 분포에 미치는 영향을 모사실험을 통하여 조사 및 분석한 후에, 건축물 바닥의 면에서 수직성분의 자기장(Z) 분포를 측정하여 지자기 교란을 확인하고자 하였다. 확인한 국소 지자기 교란을 완화시킬 수 있는 모델을 모사시험을 통하여 확립한 후에, 실제로 연자성체(soft magnetic materials)를 사용한 우회로 구조를 구성하여 지자기 교란이 완화되는 것을 증명하고자 하였다.

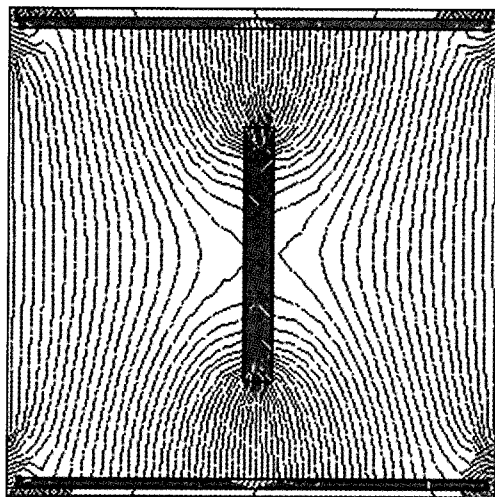
### II. 지자기 교란 측정 및 모사실험

지자기의 전달, 교란 및 균일화에 대한 모사실험은 Maxwell 방정식을 이용한 전자장 해석 프로그램(Uniflux, 재우전자)을 사용하여 유한요소법(finite element method)

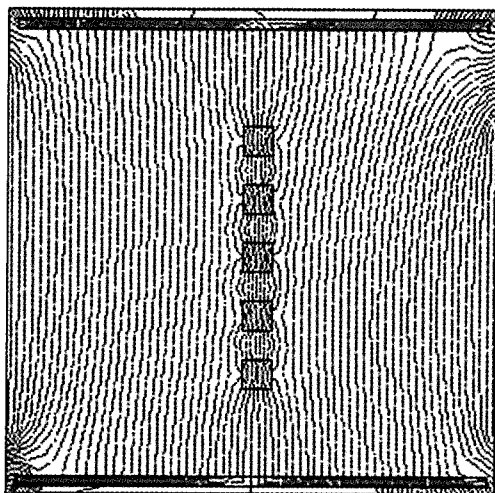
으로 해석하였다. 이때 적용한 모델은 실제 건축물의 주거 공간에서 지자기 교란 상태를 측정 한 뒤에, 이 결과를 토대로 건축물의 구조와 자성체의 위치를 고려하여 설정되었다. 지자기의 수직성분(Z)은 fluxgate형 마그네토미터 자기장측정기(Geomag-301, (주)이엠오)를 사용하여 측정하였는데, 이로부터 0.05 mG의 정밀도를 가지는 -5~5G 범위의 지자기 값을 얻을 수 있었다. 지자기의 일변화로 인하여 지자기 측정값이 시간에 따라 변하기 때문에, 이 변화의 영향을 최소화하기 위하여 전체 측정에 소요되는 시간은 1시간 이내로 하였다[1].

### III. 철골에 의한 지자기 교란

건축물에 사용하는 철골(또는 철심)은 상온에서 주로 강 자성체이며, 100~400 범위의 높은 초기투자율( $\mu_i$ )을 가지므로 지자기장의 분포에 많은 영향을 준다. 따라서 철심이 지자기 분포에 미치는 영향을 조사하기 위해서 건축물내의 철심 배열을 수직(Fig. 1)과 수평(Fig. 2), 철심이 연속 또는 불연속적으로 연결된 경우로 나누어 모사시험을 행하였다. 이때 철심의 투자율을 150으로, 콘크리트(concrete)의 투자율을 2로 가정하였다[14]. 연속 및 수직

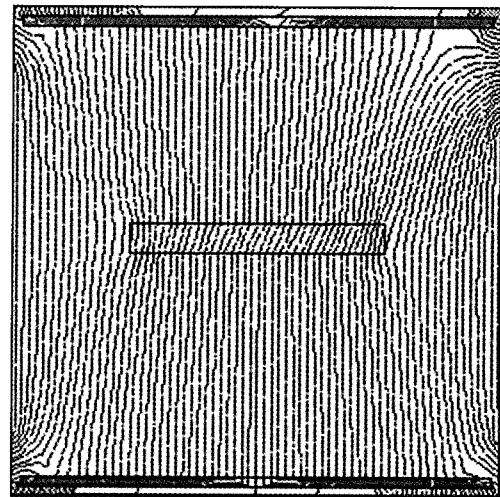


(a)

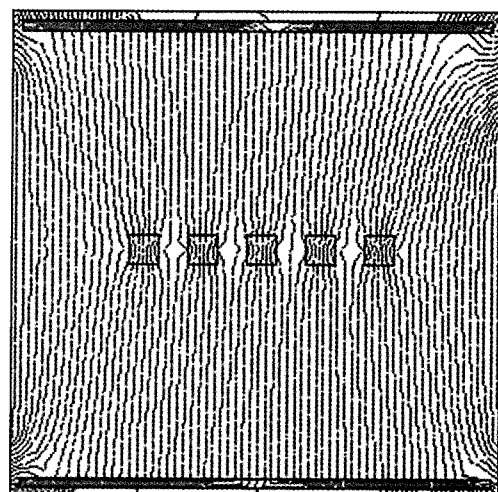


(b)

Fig. 1. Magnetic flux distributions around the vertical iron-bars: (a) continuous and (b) discontinuous bars.



(a)



(b)

Fig. 2. Magnetic flux distributions around the horizontal iron-bars: (a) continuous and (b) discontinuous bars.

인 철심에 대한 결과인 Fig. 1(a)의 경우에 자속(magnetic flux) 분포의 교란이 가장 심하였다. 철심의 양쪽 끝 부분에 자속선이 심하게 모여 있으며, 철심의 중앙부분에는 자속선이 아주 희박하여 자속 밀도가 다른 부위에 비하여 현저하게 감소하였다. 그리고 자속선의 방향도 심하게 바뀌었다. 철심이 불연속적으로 수직방향으로 배열된 Fig. 1(b)는 연속 철심에 비하여 자속분포의 교란이 심하지 않았다. 자속선들이 철심에 다소 강하게 집중되어 있지만 집중된 정도는 연속 철심에 비하여 낮았다.

수평으로 배열된 철심에 의한 자기장 교란은 Fig. 2에 나타나 있으나, 수직으로 배열된 철심에 비하여 교란의 정도가 현저하게 감소하였으며, 연속 철심의 경우에는 교란이 거의 발생하지 않아서 양단에 대단히 적은 양의 교란이 관찰되었다. 불연속 철심은 수직으로 배열된 경우에 비해서 교란의 정도가 약하였으나, 연속 철심에 비하여 약간 강한 교란을 보였다.

철근과 콘크리트로 만든 주거용 아파트나 사무용 건축물에서 기동은 Fig. 1(a)의 수직으로 배열된 연속 철심으로, 바닥을 지탱하는 격자형 철근은 그림 2(b)의 수평으로 배열된 불연속 철근으로 가정할 수 있다면, Fig. 1과 Fig. 2에 나타나 있는 결과를 적용할 수 있다. 즉, 건축물의 기동에서는 자기장이 강하게 집중되어 있으며, 바닥은 자기력선의 누설(leakage)과 탄소강의 영구자석 효과에 의하여 섬처럼 다소 약하게 집중되어 있을 것으로 사려된다. 아울러 자기장은 강자성체인 철근에 의해서 집중되고 전달되어 건축물의 각 층마다 새로운 자기장의 분포를 형성하며, 심지어 지표면에서 건축물의 옥상에까지 전달된 후에 옥상바닥의 철근 격자를 통해 재분배될 것이다. 따라서 건축물 최저층의 바닥에서부터 옥상에 이르기까지 대단히 심한 자기장 교란이 발생할 것으로 추측된다.

이러한 것을 확인하기 위해서 대구지역의 고층건물과 고층 아파트의 100개 바닥면에 대한 자기장 분포를 측정하였는데, Fig. 3은 전형적인 자기장 분포를 나타낸 것이다. 참고로 대구지역의 평균 지자기장은 총 지자기 약 0.5 G, 수평성분 약 0.4 G, 수직성분 약 0.3 G이다. Fig. 3의 분포는 대구시 서구 죽전동 소재 성서청구타운 101동 1305호의 거실바닥에 대한 것으로, 10층의 높이에도 불구하고 자기장의 강도가 높은 부분과 낮은 부분이 불규칙하게 산재하고 있다. 강도가 높은 곳은 평균 지자기장인 0.3 G에 비하여 훨씬 높으며, 강도가 낮은 곳은 평균값에 비하여 훨씬 낮았다. 주거용 아파트에서 이러한 불균일한 분포에 의하여 발생한 자기장 교란의 정도는 최소 0.2 G,

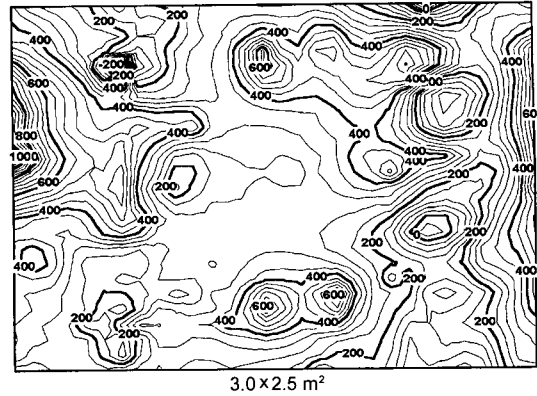


Fig. 3. Geomagnetic Z distribution on the 10th floor of a condominium house [unit: mG].

최대 3.0 G로 조사되었다.

만약 바닥에 깔려있는 철근에 의하여 자기장이 전달되고 재분배되어 교란을 일으켰다면, 불규칙한 분포는 동일하지 못한 철심 기동과 바닥의 철근 격자에 기인된 것으로 생각된다. 또한, 조사결과와 각 층에서 자기장의 최고치와 최저치가 관찰되는 위치가 각층마다 서로 다르게 나타났으며, 최고치와 최저치의 각 층간의 편차가 0.1 G 이내로 대단히 적은 것으로 보아 이러한 건축물에서의 지자기장 교란은 강자성체인 철근에 주로 기인한 것으로 생각된다. 즉 지표면에서의 지자기가 건축물내의 철근 기동과 철근 격자에 의하여 집중, 전달, 분배되어 건축물 내에 새로운 지자기 분포를 이루며, 건축물 내에서의 지자기 강도는 높이에는 상관없이 철골의 형태와 배열에 의하여 분포가 주로 결정되는 것으로 사려된다.

철근을 사용하는 일반 건축물에서는 기동의 경우에 많은 양의 철근을 다발로 묶기 때문에 자력선이 철근 밖으로 새어나가 약간의 자력선 손실이 발생하며, 철근의 연결 부위도 완벽하게 연속적이지 못하기 때문에 자력선의 전달 손실이 발생한다. 반면에 H형 강을 사용할 경우에는 철근 다발과는 달리 일체형으로 이루어져 있으므로 철근 다발에 비하여 자력선 손실이 적은 것이며, 각 층의 바닥까지 H형 강으로 만든 스틸하우스의 경우에는 H형강의 강한 자기장 집중력 때문에 철근을 사용한 건축물에 비하여 자기장 교란이 더욱 심할 것으로 예측된다. 이러한 예측은 실제 측정으로 확인할 수 있었는데, 서울 강남지역에 있는 스틸하우스인 KTIC 본사에서 측정한 결과 최고치와 최저치의 차이가 무려 5.0 G에 이르는 경우도 있었다. 아울러 스틸하우스는 일반 철근 콘크리트 건물에 비하여 층

간 높이가 대체로 낮아서 지자기의 공간분포도 심하게 교란된 것으로 나타났다.

#### IV. 건물내의 지자기 균일화

건물내의 바닥 표면에서 관찰되는 자기장 교란은 바닥 바로 밑에 놓여져 있는 격자형 철근에 주로 기인할 것으로 추측되므로 이를 기초로 한 교란모델을 제시하면 Fig. 4와 같다.

Fig. 4(a)와 (b)는 철골에 영향을 받지 않은 자연상태, 즉 교란이 발생하지 않은 상태의 자력선 분포와 자기장 분포를 나타낸 것이다. 이러한 자연상태의 자기장 세기는 일반적으로 자기장의 근원이 되는 전류로부터의 거리에 반비례하므로 지표면에서 멀어질수록 감소한다. Fig. 4(c)와 (d)는 바닥에 자기력선을 집중하는 자성체가 불연속적으로 배열되어 있는 경우, 즉 바닥 면의 아래에 철골이 격자 형태로 배열되어 있을 때, 자기력선의 분포와 바닥 면에서의 자기장 분포변화를 나타낸 것이다. 바닥 면 바로 위에

서는 교란의 정도가 심하였으나, 바닥에서 점점 멀어질수록 교란이 둔화되어 결국에는 거의 균일한 분포로 변하였다. 주거용 아파트의 경우에 층간 높이가 대체로 3.5m 이상이었는데, 이때 교란이 심하게 일어난 바닥 면에서 30 cm 가량 높은 곳의 자기장 교란은 약 50%로 감소하였으며, 50 cm 높이에서는 약 10%로 감소하였다. 따라서 자기장 교란에 의한 영향을 배제하기 위해서는 바닥 면에서 50 cm 정도 높은 곳에 위치하거나 떨어지는 것이 바람직할 수 있다.

주거용 아파트에서 조사된 0.2-3.0 G의 교란이나 스틸 하우스에서 관찰된 5.0 G의 교란은, 태양 활동 때문에 발생하는 자기폭풍시의 1-3 mG 정도의 교란에 비해 100배 이상이나 되는 대단히 큰 값이다. 서론에서 밝힌바와 같이 철골에 의한 교란에 비해 대단히 교란의 정도가 낮은 지자기 폭풍에 의해서도 인간의 건강과 생활이 영향을 받기 때문에, 철골에 의한 교란에 의해서도 영향을 받을 것으로 추측할 수 있다. 지자기 교란 영향의 유무와 관계없이 바닥 면에서의 지자기 교란을 없애거나 줄일 수 있는 방법

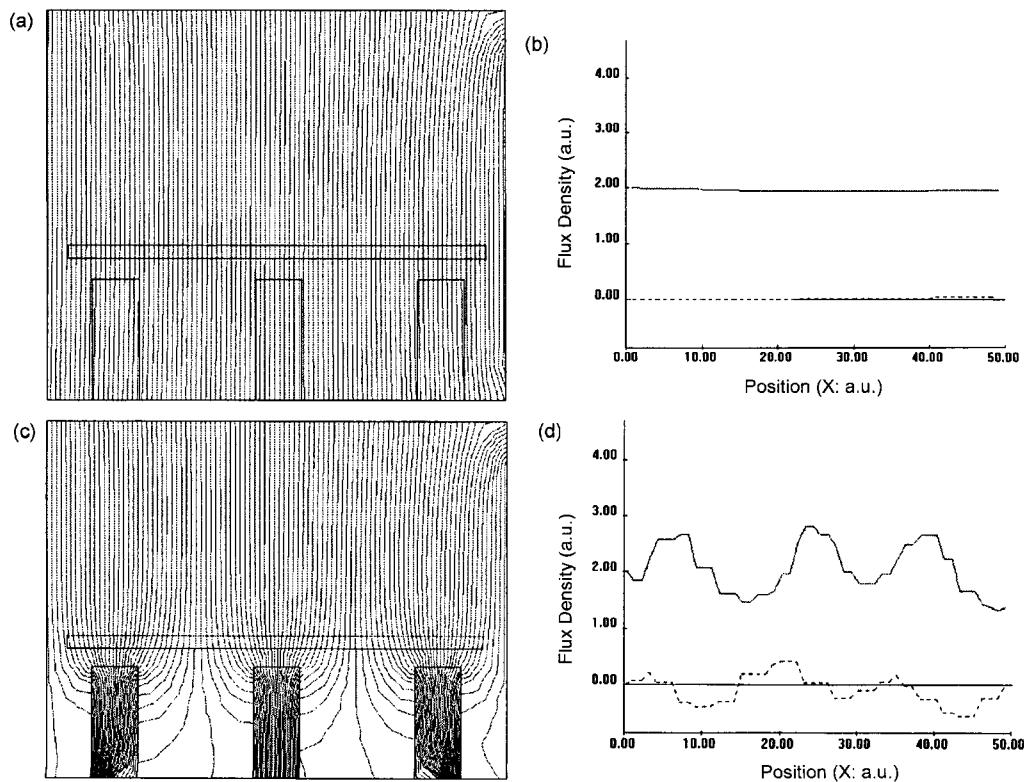


Fig. 4. Simulated model and results for the Z distributions on the floor of condominium house with iron-bar lattice at bottom: (a) flux distribution and (b) Z variation for the undisturbed state; (c) flux distribution and (d) Z variation for the disturbed state by iron-bar lattice.

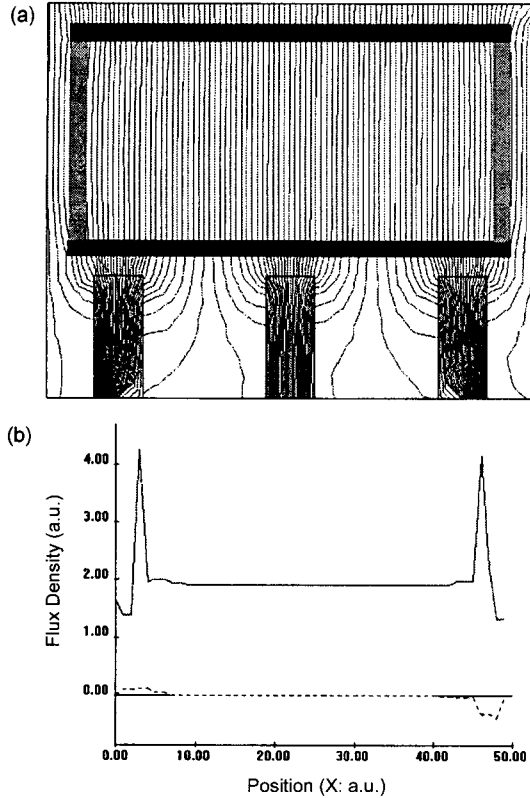


Fig. 5. Field homogenization model: (a) flux distribution and (b) Z variation.

을 제시하였는데, 자세한 내용은 다음과 같다.

Fig. 4(c)에 나타나 있는 모델에서 바닥 면과 벽 또는 천장에 자기력선을 집중하는 연자성체(soft magnetic materials)의 판을 설치한 Fig. 5(a)에서 거의 모든 자기력선이 수직방향으로 서로 평행하게 분포하고 있으며, Fig. 5(b)에 나타나 있는 균일한 자속밀도의 분포로부터 공간 내에서의 지자기 균일화가 잘 이루어져 있음을 알 수 있다. 이때 바닥 면의 연자성체 판은 자기력선을 모으는 기능을 하므로 초투자율이 높을수록 유리하며, 벽면은 자기력선을 전달만 하므로 초투자율이 낮을수록 좋다. 천장에 있는 연자성체는 없어도 무관하다.

Fig. 6은 건축물 바닥 면에 대한 실시예를 나타낸 것이다. Fig. 6(a)는 균일화 구조를 설치하기 전의 자기장 분포를 나타낸 것으로, 상하부에 각각 지자기가 높은 곳(A)과 낮은 곳(B)이 관찰된다. 이때 최고치와 최저치 간의 차이는 0.8 G이며, AB간의 거리는 60 cm이다. Fig. 6(b)는 Fig. 6(a)의 지점을 투자율 1,500, 두께 0.3 mm인 전기강판으로 덮었을 때 변화된 자기장의 분포를 나타낸 것이다.

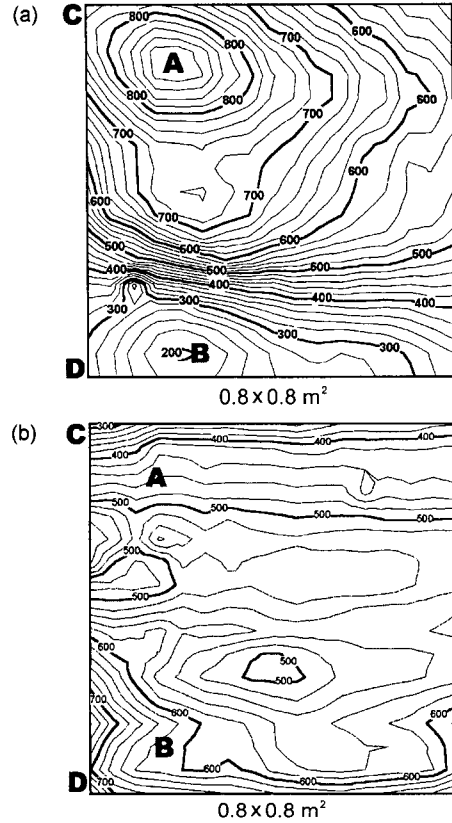


Fig. 6. Effect of Permalloy sheet on the Z distribution on the floor, (a) uncovered and (b) covered with Si-steel (96Fe-4Si) sheet of  $800 \times 800 \times 0.3 \text{ mm}^3$  [unit : mG].

자기장의 최고치와 최저치를 나타내는 장소가 전기강판의 모서리와 변으로 이동하였을 뿐만 아니라, 두 값의 차이도 0.5 G로 감소하였다. 전기강판을 덮기 전후에 A, B점에서의 자기장 세기 변화를 보면, 점 A에서는 1.0 G → 0.5 G, 점 B에서는 0.2 G → 0.6 G로 변하여 점 A와 B 간의 차이가 0.8 G → 0.1 G로 감소하였으므로, 전기강판에 의하여 균일화가 상당히 일어났다. 실제로 0.4~0.6 G의 면적이 30%에서 90%로 3배나 증가하였다. 따라서 전기강판과 같은 연자성체 자기장 집중판 만으로도 자기장 균일화가 상당히 도모된다는 것을 알 수 있다.

Fig. 5의 모델에 의한 모사실험 결과에 의하면 바닥에 집중판 만을 설치하는 경우에도 상당한 균일화 효과 발생 하지만, 집중판 모서리 부근에서는 자기장의 변화가 심하게 일어나는바, 이는 그림 6의 실험결과와 잘 일치한다. 균일화가 더욱 완벽하게 일어나기 위해서는 그림 5에 제시되어 있는 바와 같이 집중된 자기력선이 우회할 수 있는 우회로를 만들어주는 것이 바람직한데, 이러한 사실도

실험을 통하여 확인할 수 있었다.

## V. 결 론

건축물내 바닥면에서의 지자기 분포에 대한 모사실험과 측정 및 분석을 통하여 철골이 지자기장의 분포에 심각한 영향을 주어 국소 지자기 교란을 일으킨다는 것을 규명하였다. 수평의 철골은 지자기장의 Z 성분 분포에 미치는 영향이 비교적 적지만, 수직의 철골은 자기장을 강하게 집중하여 전달하므로 자기장 분포에 지대한 영향을 미친다. 자기력선은 강자성체인 철근에 의해서 집중되고 전달되어, 건축물의 각 층마다 새로운 자기장의 분포를 형성하여 건축물 최저층의 바닥에서부터 옥상에 이르기까지 대단히 심한 자기장 교란을 발생시킨다. 이러한 국소 지자기 교란은 연자성체로 이루어진 바닥이나 우회로 구조를 가지는 연자성체 바닥으로 완화된다.

## 참 고 문 헌

- [1] W. H. Campbell, Introduction to Geomagnetic Field. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK (1997).
- [2] H. Friedam, R. Becker, and C. Bachman, *Nature* **200**, 626(1963).
- [3] Y. S. Nikolaev, Y. Rudakov, S. Mansurov and L. Mansurova, *IZMIRAN, Acad. Sci. USSR*, 29(1979).
- [4] M. Rajaram, S. Mitra, *Neurosci. Lett.*, **24**, 187(1981).
- [5] M. Persinger, *Neurosci. Lett.*, **88**, 271(1988).
- [6] W. Randall, S. Randall, *Bioelectromag.*, **12**, 67(1991).
- [7] R. T. Merrill, M. W. McElhinny, and P. L. McFadden, *The Magnetic Field of the Earth*. Acad. Press, New York (1998).
- [8] G. Backus, R. Parker, and C. Constable, *Foundations of Geomagnetism*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK (1996).
- [9] M. Lee *et al.*, Proc. of the 2nd Joint Symposium between Hokkaido Univ.-Yeungnam Univ., Sapporo, Jpn., Aug. 4-5, 2000, pp. 51-56.
- [10] Effects of EM Radiation, *IEEE Eng. Med. and Biology*, **6** (1), 15(1987).
- [11] B.A. Clairmont and R.J. Lordan, *IEEE Trans. Power Del.*, **14**, 1382(1999).
- [12] S. Kong *et al.*, *ICEE*, **A1-02**, 61(1999).
- [13] S. Krishnamoorthy, Proc. 12th IEEE Symp. Comp. Med. Syst. (1999).
- [14] B. D. Cullity, *Introduction to Magnetic Materials*, Addison-Wesley Pub. Co., Reading, MA (1972).
- [1] W. H. Campbell, Introduction to Geomagnetic Field.

## Geomagnetic Disturbances by Steel Skeletons

S. H. Song, M. H. Lee, S. H. Bae and H. J. Shin

RIBE, Dept. of Applied Electronics, Yeungnam University Kyungsan 712-749, Korea

(Received 6 November 2000, in final form 5 December 2000)

Effects of steel-skeletons on the geomagnetic distribution in building have been studied through the simulation and measurement of geomagnetic distribution at floor surface. Geomagnetic distribution was simulated by the finite element method, and the vertical component Z of geomagnetic field on the floor surface was measured with the fluxgate-type magnetometer. Horizontal steel-skeletons have a little effect on the Z distribution, but vertical skeletons disturb severely the Z distribution and result in the localized geomagnetic disturbance. This disturbance becomes weakened by the bypassing soft-magnetic plate and/or floor.