

다중개구면 합체의 차폐효과 및 냉각특성

(Shielding Effectiveness and Cooling Characteristics of Multi-apertures in Enclosures)

송 규 섭*, 김 광 수*, 김 형 섭*, 박 중 무*

(Kyu-Sop Song* · Kwang-Soo Kim* · Hyoung-Seob Kim* · Joong-Moo Park*)

요 약

정보통신 시스템이 고속/고밀도화 됨에 따라 전자파 차폐 효과와 냉각 성능의 최적 조건을 구하는 문제가 대두되고 있다. 따라서 본고에서는 다중 개구면이 있는 합체에 대한 전자파 차폐 효과와 냉각 특성을 조사하였다. 차폐 효과는 실험치와 이론치를 구하였고 냉각 특성은 컴퓨터 수치 해석을 이용하여 공극율에 따른 특성을 파악하였다. 연구 결과, 개구면의 형상에 따른 차폐 효과는 공극율에 가장 큰 영향을 받으며, 상반된 성질이 있는 냉각 특성과 종합적으로 비교하여 볼 때 공극율이 80% 이상인 경우에는 특성 변화가 급격함을 알 수 있었다.

Abstract

The denser and higher speed telecommunication systems get, the more electromagnetic waves and more heat they throw off. With power predictions lastly for the upcoming systems, they need the enforced method to optimize the technologies between shielding effectiveness and cooling characteristics. In the present study, the shielding effectiveness and cooling characteristics for enclosures with multi-apertures considered as fundamental solution in telecommunication systems are performed both of experimentally and numerically. The shielding effectiveness measured from experimental work is compared with both of the analytical data for flat plates with multi-apertures and the cooling characteristics by the numerical solution.

As results, the most significant influence on the shielding effectiveness of enclosures is determined by the porosities of apertures, and it is found that shielding effectiveness and cooling capabilities are significant varied, reciprocally, at which porosity is more than 80%.

* 한국전자통신연구소 실장기술연구실
* ETRI, Electronic Packaging Technology Section

I. 서 론

정보통신 시스템이 고밀도화되고 고속화됨과 아울러 사회의 발전에 의한 전자기적 환경이 더욱 열악해짐에 따라 기구장치 분야에서는 시스템의 성능 실현을 위하여 냉각 문제 뿐만 아니라 전자파 장애 문제의 해결이 중요시 되고 있다.[1] 일반적으로 정보통신 시스템은 회로팩을 기본으로 하여 구성되며 랙(rack) 단위로 설치되고 랙 내부 및 각 랙간에는 각종 케이블로 연결되어지며 시스템의 냉각을 위하여 많은 환기구가 가공되어야 하므로 특히 EMI/EMC 문제에 대하여 취약한 구조를 갖는다.[2] 또한 향후 개발될 시스템의 성능(throughput)이 현재의 약 10Gbit/s에서 160Gbit/s 혹은 Tbit/s급 정도로 예상되어 인쇄 회로 기판, 커넥터 및 케이블 간의 전송이 고속으로 됨에 따라 링크 배선간의 EMI/EMC 문제가 심각하게 될 것이다.[3]

다중 개구면이 있는 평판을 통한 전자파 복사는 안테나 분야에서 1940년대 부터 꾸준히 연구되어 C. C. Chen[4], S. W. Lee[5], T. Y. Otoshi[6], W. T. Cathey, Jr.[7], D. J. White[8]등이 많은 연구를 하였다. 합체(enclosure)에 관하여는 H. A. Mendez[9], L. O. Hoefft[10], G. Cerri[11]등이 연구를 하였으나 이들은 모두 합체에 한개의 개구가 존재하는 경우에 대한 것으로 다중 개구면을 갖는 합체의 해석은 포함되어 있지 않다.

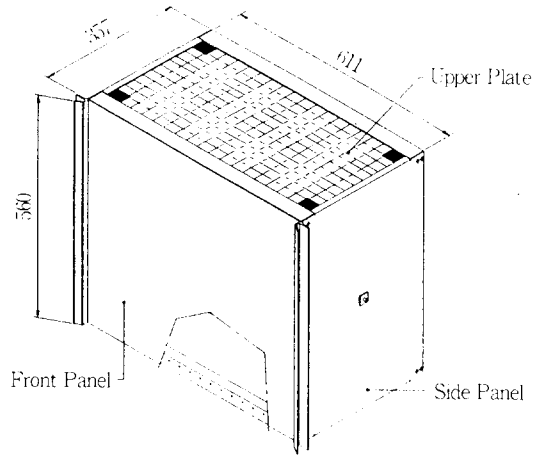
기구장치의 EMI/EMC 설계에서는 합체를 구성함이 궁극적인 목표이므로 평판에 대한 차폐 효과보다는 합체에서의 차폐 효과가 주요 관심사가 된다. 따라서 본 고에서는 다중 개구면을 갖는 합체의 차폐 효과를 각 영향 인자별로 실험을 통하여 측정하였다. 또한 실제 시스템에서는 전자파 차폐 문제와 냉각 문제는 공존하고 이들은 상반된 특성을 갖고 있으므로 수치 해석을 통하여 구한 공극율(porosity)에 따른 합체의 냉각 성능과도 비교 분석하였다.

II. 다중 개구면 합체의 차폐 효과 실험

2.1. 실험 장치

본 실험 장치는 차폐 효과 실험용 합체, RF(Radio Frequency) 신호 발생기(signal generator), 스펙트럼 분석기(spectrum analyzer), 송신용 안테나, 수신용 안테나, RF 증폭기(RF amplifier) 등으로 구성하였다.

실험에 사용한 합체는 [그림 1]과 같으며 재질은 정보통신 시스템의 기구장치를 제작할 때 일반적으로 가장 많이 사용되는 알루미늄을 사용하였고 표면처리는 광택주석 도금하였다.



[그림 1] 차폐효과 실험용 합체 구조

[Fig. 1] Structure of Experimental Enclosure

본 실험에 사용한 개구면 실험 시편의 외곽 크기는 618mm×362mm이고 개구면이 가공되는 부위는 중앙의 567mm×264mm이다. 재질은 일반적으로 합체를 제작할 때 사용하는 냉간 압연 강판이다. 가공된 개구면의 형상과 공극율은 <표 1>과 같다.

측정에 사용된 안테나는 루프(loop) 안테나, 로드(rod) 안테나, 다이폴(dipole) 안테나 및 혼(horn) 안테나의 4종류이며, 루프 안테나는 외경 3.6mm의 semi-rigid 동축 케이블을 사용하여 제작하였고 합체의 내부에 설치될 수 있도록 루프의 직경은 200mm이며 split shield형 루프 안테나의 형태를 취하고 있다.[12]

〈표 1〉 실험 시편의 개구면 형상

번호	개구모양	개구크기 (mm)	간격 (mm)	배열	두께 (mm)	재질	공극율 (%)
1	원형	φ 3	6	사각	1.0	냉연강판	80
2	원형	φ 3	18	사각	1.0	냉연강판	98
3	원형	φ 9	18	사각	1.0	냉연강판	80
4	원형	φ 15	18	사각	1.0	냉연강판	45
5	원형	φ 3	12	사각	1.0	냉연강판	95
6	원형	φ 5.8	11	사각	1.0	냉연강판	78
7	사각형	5×5.284	11	사각	1.0	냉연강판	78
8	사각형	3×8.807	11	사각	1.0	냉연강판	78
9	원형	φ 3	6	감각	1.0	냉연강판	77

2.2 실험 방법

평판이나 EMI 개스킷 등 재료의 차폐 효과 측정법은 ASTM의 듀얼 챔버(dual chamber)법, 어드반테스트(ADVANTEST)법, 실드 박스(Shield Box)법 등 많은 방법이 있으며, 실드 룸(shield room)에 대한 차폐 효과 측정법은 MIL-STD-285, NSA 65-6, NSA 73-2A 등에 규정되어 있다.[13] 그러나 합체의 차폐 효과를 측정하는 방법에 대하여는 규정되어 있는 것이 없으므로 실드 룸의 차폐 효과 측정시 일반적으로 가장 많이 사용되는 MIL-STD-285의 방법을 기초로 하여 측정하였다.[14], [15]

실험은 자기장, 전기장 및 원역장으로 구분하여 각 주파수 대역별로 안테나를 설치하여 놓고 실험 시편 전체를 순차적으로 측정하였다.

2.2.1. E-field(고 임피던스 파)의 측정

실험용 시편이 설치되는 면을 제외한 모든 면이 밀폐된 실험용 합체의 내부에 수신용 Active Monopole 안테나를 시편 내측에서 305mm(12") 이격시켜 설치하고, 송신용 Passive Rod 안테나는 시편의 외측에서 305mm 이격시켜 합체 외부에 설치하였다.

측정 주파수는 200kHz, 1MHz 및 18MHz이며 스펙트럼 분석기의 주파수 span은 5kHz로 하였다. 측정 순서는 각 주파수마다 실험 시편이 없는 상태에서 전파의 세기를 측정한 후에 시편을 완전히 설치하고서 측정하

였으며, 전자의 값에 대한 후자의 값 차를 차폐 효과로 취하였다.

2.2.2. H-field(저 임피던스 파)의 측정

측정 시스템의 설치는 전기장의 경우와 같으나 다만 안테나를 루프 안테나로 사용하였고 루프의 방향은 시편에 평행한 방향을 취하도록 하였다. 측정 주파수는 150kHz, 170kHz 및 200kHz로 하였고 측정 순서는 전기장의 경우와 동일하게 하였다.

2.2.3. 평면파의 측정

평면파의 경우 MIL-STD-285에서는 1GHz까지만 규정하고 있으나 점차 사용하는 주파수가 높아지고 있고 NSA 등의 규격은 10GHz까지를 규정하고 있으므로 본 실험에서는 400MHz에서 10GHz까지 측정하였다. 실험에 사용한 송수신 안테나는 안테나 고유의 주파수 대역에 따라 1GHz까지는 다이폴(dipole) 안테나를 이용하고, 그 이상 10GHz까지는 혼(Double Ridged Horn) 안테나를 사용하여 측정하였다. 수신용 안테나는 실험용 합체의 중앙 위치인 차폐벽에서 0.2m(MIL 규격: 2" 이상) 이격시켜 합체 내부에 설치하고 송신용 안테나는 원역장의 조건을 만족하도록 $\lambda/(2\pi)$ 보다 훨씬 먼 거리인 차폐벽 외측에서 3m(MIL 규격: 최소 72") 이격시켜 설치하였다. 측정 주파수는 400MHz, 700MHz, 2GHz, 4GHz, 6GHz, 8GHz 및 10GHz이다.

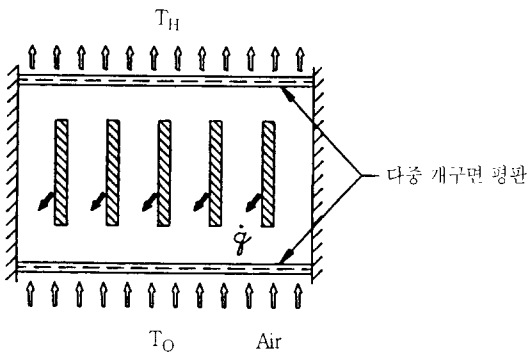
Ⅲ. 다중 개구면 합체의 냉각 특성 해석

합체의 상하면에 부착된 다중 개구면 평판의 공극율에 따라 내부 발열 부품의 냉각 성능을 수치 해석에 의해 평가하기 위해 수치해석 모델링에 사용된 다중 개구면 평판의 전체면적은 $567 \times 265(\text{mm}^2)$ 이며, 다중 개구면 평판의 공극율은 47, 73, 87, 93(%)의 4종류에 대해 수치해석을 수행하였다.

3.1. 이론 해석 및 지배 방정식(Governing Equation)

3.1.1. 계산 모델의 설정

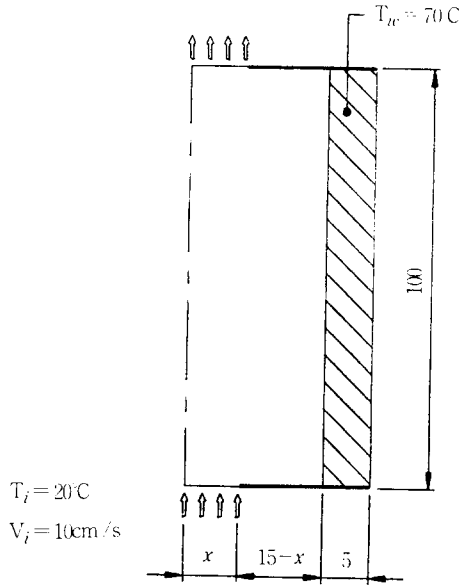
정보통신 시스템에서 많이 사용하고 있는 합체 만을 따로 분리하여 보면 [그림 2]와 같으며, 합체 내부에 균일한 발열량(q)을 내고 있는 부품이 있고 상하부에 각각의 공극율에 해당하는 다중 개구면 평판으로 구성되어 있는 합체에 대해 냉각 특성을 해석하였다. [그림 2]와 같은 합체에 대해 냉각 특성을 수치적으로 해석하기 위해서는 [그림 3]과 같은 모델링이 필요하다.



[그림 2] 균일 발열량을 갖는 합체 형상
[Fig. 2] Enclosure with Uniform Heat Distribution

이 모델에서는 [그림 2]와 같은 합체에 대해 발열체 양면을 대칭으로 가정하고 반쪽만 해석하고 입출구 공기 통로 면적 x 는 공극율에 따라 8.0, 4.0, 2.0, 1.0의 4가지 경우로 변화시켰다. 입구 공기 속도는 10cm/s 로 균일하고 입구 공기 온도는 20°C 로 하였다. 발열체에 해당하는 벽온도는 70°C 로 일정하고 입구 온도와 벽온도가 항상 일정할 때 출구에서 빠져나가는 열량을 각 공극율

의 경우에 대해 비교하여 냉각성능을 평가하였다.



[그림 3] 냉각 해석을 위한 모델링
[Fig. 3] Modeling for Computer Simulation

3.1.2. 지배 방정식 및 경계 조건

위와 같은 모델링을 한 후 수치해석을 수행하기 위해 아래와 같은 가정을 하였다.

- 1) 채널유동은 정상상태 2차원 층류 혼합대류(자연대류 + 강제대류)이다.
- 2) 내부 발열체는 냉각공기에 의해서만 냉각, 즉, 복사 및 양쪽벽을 통한 전도에 의한 열전달은 무시한다.
- 3) 냉각 공기 유입 속도(V)는 모든 공극율에 대해 동일하다. 즉, 공극율에 따른 압력변화는 무시한다.

위의 가정에 따른 지배 방정식들은 다음과 같다.

-연속방정식(Continuity Eq.)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = S_m \quad (1)$$

-운동량 보존방정식(Momentum Conservation Eq.)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i \quad (2)$$

-에너지 보존방정식(Energy Conservation Eq.)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i h) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial p}{\partial t} + u_i \frac{\partial p}{\partial x_i} + \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + S_h \quad (3)$$

또한 경계 조건은 아래와 같다.

- 입구온도: $T_i = 20^\circ\text{C}$
- 입구속도: $V_i = 10\text{cm/s}$
- 벽면(발열체) 온도: $T_w = 70^\circ\text{C}$
- 출구 압력: 대기압(0 Pa)

3.2 수치 해석 방법

범용 냉각해석용 Software Package인 FLUENT (Fluent Inc., Rev. 4.1.1)를 이용하였으며, [그림 4]와 같이 32×52 개의 비균일 격자를 갖도록 하여 4가지 공극율에 대해 각각 계산하여 속도 분포 및 온도 분포를 계산하였다. 상부 출구에서의 온도 및 속도 분포를 이용



[그림 4] 모델의 격자 생성
[Fig. 4] Grid Generation of Modeling

하여 아래 식으로 상부 출구를 통해 빠져나가는 열용량(Heat Rate)을 구하여 비교하였다.

$$q = \int_0^x \rho C_p V (T - T_i) dx \quad (4)$$

여기서, q : 출구에서 빠져나간 열량(W)

ρ : 공기밀도(kg/m^3)

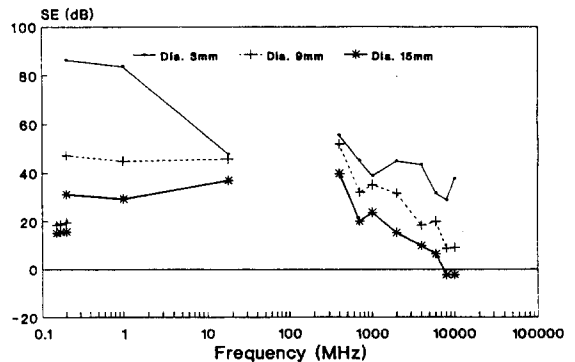
C_p : 공기 비열($\text{kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$)

IV. 결과 및 고찰

합체 개구면의 형상 변동에 따른 차폐 효과 측정 결과를 비교 항목별로 비교 분석하였다. 그리고 원역장의 측정치는 평판에 대한 이론치와 비교하였다. 또한 공극율에 따른 차폐 효과와 냉각 효율과의 관계를 비교하였다.

4.1. 개구 크기에 따른 차폐 효과

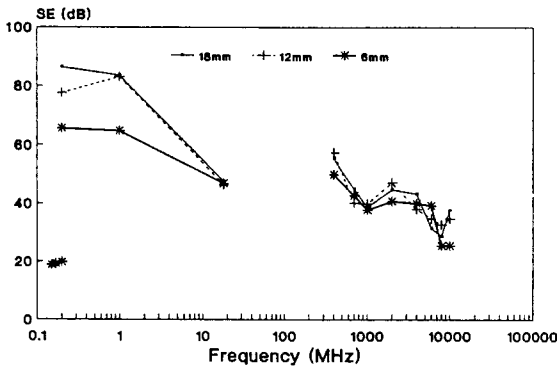
합체의 개구 크기에 따른 차폐 효과의 측정 결과는 [그림 5]에 나타내었으며 이는 자기장, 전기장 및 원역장에서의 결과를 모두 포함하고 있다. 전체적으로 볼 때 차폐 효과의 평균값은 전기장 50dB, 자기장 20dB, 원역장 27dB로 전기장이나 원역장 보다 자기장의 차폐 효과가 낮게 나타나고 있어 자기장의 차폐가 어려움을 알 수 있다. 또한 1GHz 이상의 고주파 영역에서도 차폐 효



[그림 5] 개구 크기에 따른 차폐 효과
[Fig. 5] SE versus Diameter of Aperture

파가 낮게 나타나고 있다. [그림 5]의 개구 직경이 15mm인 경우 주파수 8GHz와 10GHz에서 차폐 효과 감소로 나타난 것은 측정 주파수가 차단 주파수(약 10GHz) 근방이고, 개구면의 둘레크기가 측정 주파수의 파장 보다 커서 에너지의 투과가 대량이므로 차폐 효과가 극히 낮고[16] 또한 측정의 오차에 기인한 것 같다.

개구가 작을수록 즉, 공극율이 클수록 합체의 차폐 효과는 크며 또한 그 차이는 자기장 영역에서는 3.9dB로 차이가 작으나 전기장과 원역장에서는 각각 40.1dB, 26.9dB로 차이가 큼을 알 수 있다.



[그림 6] 개구간 간격에 따른 차폐 효과
[Fig. 6] SE versus Spacing of Aperture

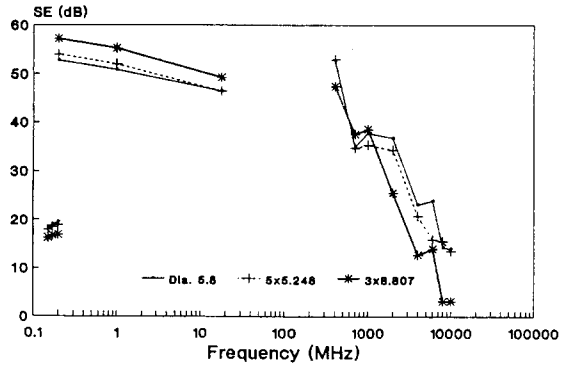
4.2 개구간 간격에 따른 차폐 효과

합체의 개구간 간격에 따른 합체의 차폐 효과 측정 결과는 [그림 6]과 같으며, 측정값이 큰 차이는 없으나 개구 간격이 클수록 차폐 효과는 증가함을 알 수 있다. 이는 개구 간격이 클수록 공극율이 증가하기 때문인 것 같다. 차폐 효과의 차이는 전기장에서는 13.4dB로 크게 발생하나 자기장에서는 0.2dB로 거의 일치하고 있다. 또한 원역장의 경우 차이가 3dB로 큰 변화가 없음을 나타내고 있다.

4.3 개구 모양에 따른 차폐 효과

공극율이 같고 개구의 모양이 다른 경우에 대한 차폐 효과의 측정 결과는 [그림 7]과 같다. 공극율이 같은 경우 개구 모양에 따른 차폐 효과의 차이는 4.3dB 정도로

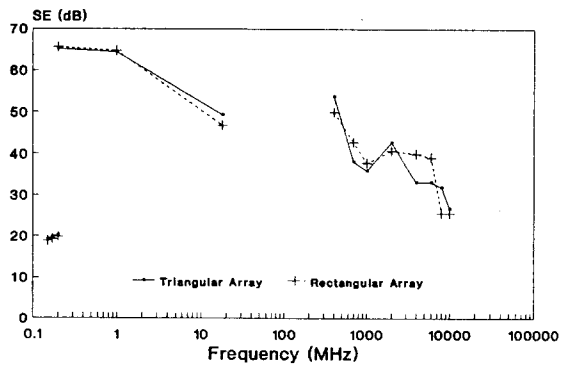
작게 나타나므로 앞의 결과를 비교하여 볼 때 차폐 효과는 공극율에 가장 큰 영향을 받음을 알 수 있다. 전기장에서는 직사각형의 개구가 원형 개구보다 3.9dB 차폐 효과가 우수하나 자기장 및 원역장에서는 원형 형태의 개구가 각각 2.1dB, 7dB 우수함을 알 수 있다.



[그림 7] 개구 모양에 따른 차폐 효과
[Fig. 7] SE versus Shape of Aperture

4.4 개구면 배열 방법에 따른 차폐 효과

[그림 8]은 개구면의 배열이 삼각 배열 및 사각 배열인 경우의 차폐 효과를 나타내고 있다. 합체에서 차폐 효과의 차이는 0.7dB 이내로 배열 방법에 의하여는 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

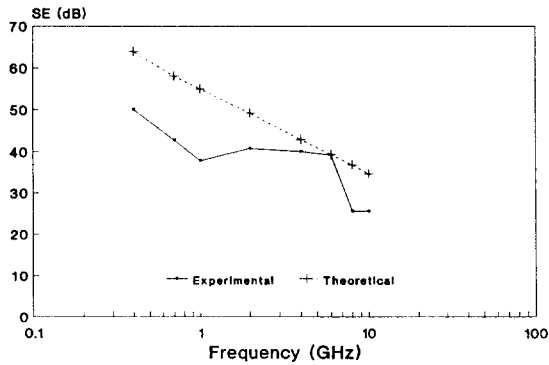


[그림 8] 개구면 배열 방법에 따른 차폐 효과
[Fig. 8] SE versus Lattice of Aperture

4.5. 평판의 차폐 효과와 비교

다중 개구면을 갖는 합체의 차폐 효과를 다중 개구면을 갖는 무한 평판에 대한 이론식의 결과와 비교하였다.

원역장의 경우에 대하여는 C. C. Chen의 이론식에 두께의 영향 인자를 보완하여 계산한 결과와 합체의 측정치를 비교하였다. 실험 시편 #1에 대하여 비교한 결과가 [그림 9]에 나타나 있다. 합체의 측정치와 평판에 대한 이론치는 전반적인 경향은 일치하고 있으나 이론치의 값이 측정치 보다 약 10dB 높게 나타나고 있으며 측정치는 주파수에 따른 굴곡이 심하다. 이는 이론치가 무한 평판에 대한 것이나 합체의 측정치는 합체가 구조물 이어서 합체 내부에서의 정재파(standing wave)[17]에 의한 공진 영향 등 복잡한 전자파 환경에 기인한 것 같다.



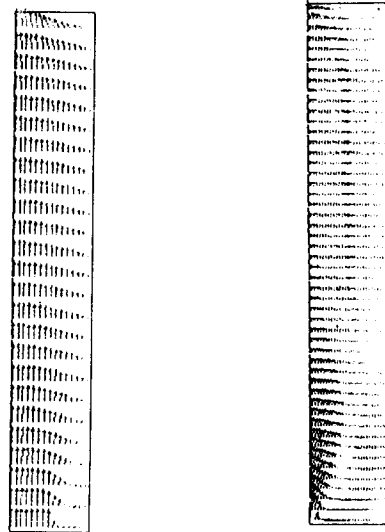
[그림 9] 합체의 측정치와 평판의 이론치 비교

[Fig. 9] Measured SE in Enclosure versus Theory in Plate

4.6. 개구면의 공극율에 따른 합체의 냉각 특성

[그림 10]은 공극율 47%와 93%일 때의 속도분포를 나타낸 것으로 공극율이 47%일 때에는 유입부가 커서 유입속도가 충분히 성장하여 빠져나가지만 공극율이 93%인 경우는 유입부가 너무 작아 발열체가 형성하는 채널 내부에 유동이 거의 없음을 알 수 있다.

[그림 11]에서 (a), (b), (c), (d)는 각각 공극율 47, 73, 87, 93%에 해당하는 모델링 부분의 온도 분포를 나



(a) 공극율 47%

(b) 공극율 93%

[그림 10] 공극율에 따른 속도 벡터 분포

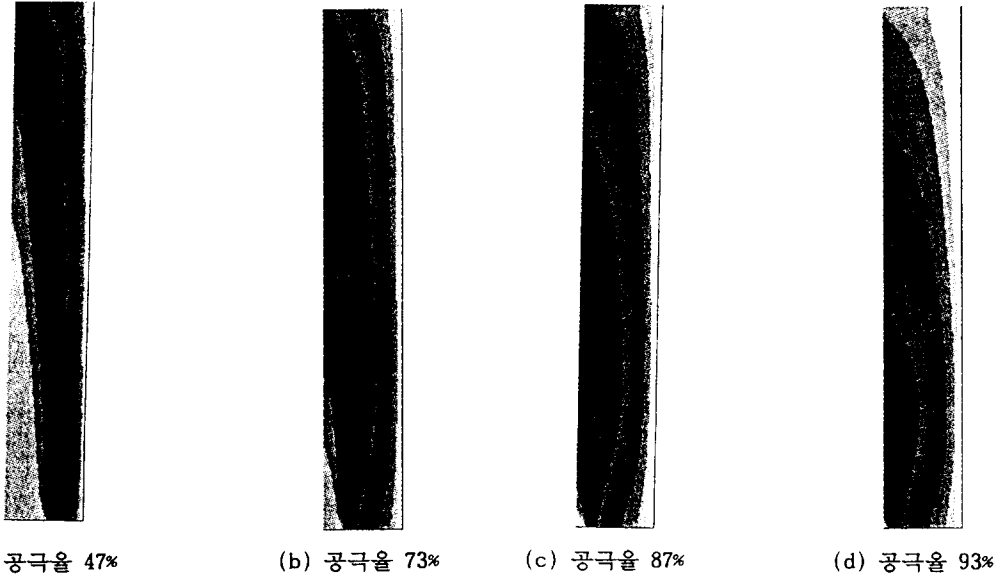
[Fig. 10] Distribution of Velocity Vector versus Porosity

타낸 그림으로 공극율 47%에서는 입구 폭이 커서 입구의 냉각 공기가 합체 내부로 충분히 전달되어 냉각효과가 가장 좋으며, 반대로 공극율 93%에서는 입출구에서 냉각 공기의 유입과 유출이 거의 없어 벽면의 온도가 채널 내부에 대부분 분포하게 되어, 즉, 합체 내부가 과열되어 냉각 효과가 가장 나쁜 것으로 나타났다.

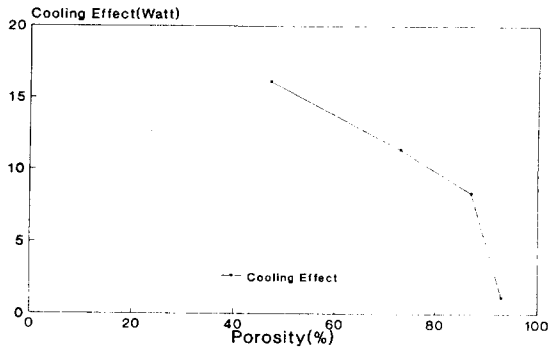
상부 출구에서의 온도 및 속도 분포를 이용하여 출구로 빠져나가는 열용량을 구하여 비교 정리한 것을 <표 2> 및 [그림 12]에 나타내었다. 표 및 그림에서와 같이 공극율이 47%에서 87%까지 증가함에 따른 냉각성능은 거의 선형적으로 감소하는 것을 알 수 있으나 그 이상으로 증가하면 냉각 성능은 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 공기 유동 입출구의 면적이 적어짐에 따른 내부 과열공기의 정체에 인한 것으로 판단된다.

<표 2> 공극율과 냉각성능

공극율(%)	47	73	87	93	비고
냉각성능(W)	16.12	11.35	8.35	1.17	



[그림 11] 공극율에 따른 공기 온도 분포
 [Fig. 11] Distribution of Air Temperature versus Porosity

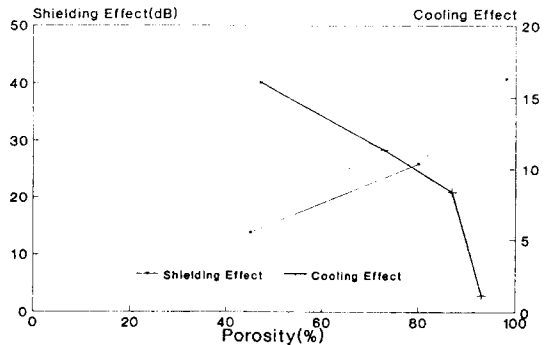


[그림 12] 공극율에 따른 냉각 성능
 [Fig. 12] Cooling Effect versus Porosity

4.7. 차폐 효과와 냉각 특성과의 관계

정보통신 시스템의 함체는 일반적으로 냉각, 케이블, 조작 부품 등을 위하여 다중 개구면을 갖는다. 그러나 이러한 개구면이 냉각과 전자파 차폐에 미치는 영향은 상반된다. 즉 일반적으로 개구면이 적을수록 차폐 효과는 증가하나 냉각 효율은 저하한다. [그림 13]은 공극율에 따른 차폐 효과와 냉각 성능을 나타낸 그림이다. 공

극율에 따른 차폐 효과의 대상 자료는 개구의 크기에 따른 원역장의 차폐 효과 영향을 분석한 것이며 냉각 성능에 대한 자료는 컴퓨터 수치해석의 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 공극율이 커질수록 차폐 효과는 증가하나 냉각 효율은 감소한다. 특히 공극율 80% 정도에서부터 차폐 효과와 냉각 성능의 변화가 급격히 발생하므로 공극율을 80% 이상으로 할 경우에는 시스템의 최적 설계를 위하여 냉각 성능과 차폐 효과를 신중히 고려하여 적절한 공극율을 선정하여야 한다.



[그림 13] 공극율에 따른 차폐효과 및 냉각성능
 [Fig. 13] SE and Cooling Effect versus Porosity

V. 결 론

EMI/EMC에 대한 규제 규정의 강화와 고속/고밀도 시스템 요구 조건의 만족을 위하여는 합체에서도 이의 대책 설계가 강화되어야 하고 특히 생산 단계로 진행될수록 개선 비용이 증대됨을 고려하여 개발 초기부터 대책 설계 개념이 반영되어야 한다.

다중 개구면을 갖는 실험용 합체를 제작하여 차폐 효과를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

합체의 차폐 효과 영향 인자중 가장 큰 영향을 미치는 것은 합체의 공극율이며 공극율이 증가할수록 차폐 효과도 비례 이상으로 증가한다.

본 실험 시편에 대한 실험 결과, 합체의 차폐 효과는 전기장이나 원역장에서의 차폐 효과보다 자기장에서의 차폐 효과가 월등히 낮아 자기장의 차폐가 더 어렵다. 또한 주파수가 GHz 단위 이상의 높은 영역에서는 차폐 효과가 많이 감소하므로 자기장과 GHz 이상의 높은 주파수를 사용하는 시스템의 합체는 차폐 설계에 신중을 기하여야 한다.

원역장의 경우, 다중 개구면을 갖는 무한 평판의 차폐 효과 이론치는 합체의 차폐 효과 보다 약 10dB 정도 높게 나타나며 전반적 경향은 일치하나, 각 주파수별로 일률적인 대응 관계를 규정하기는 어려웠다.

합체의 차폐 효과는 개구간 간격이 클수록, 개구의 형태는 원형이 차폐 효과가 우수하였으며, 개구면의 배열 방법에는 큰 영향을 받지 않았다.

합체의 차폐 효과와 냉각 성능은 상반되는 특성이 있으므로 합체 설계시 요구 조건의 명확한 정의 및 두가지 특성을 잘 고려하여야 한다. 특히 공극율이 80% 이상인 경우 특성의 상반적 변화가 심하였다. 특히, 공극율이 90% 이상이 되면 입출구에서 냉각공기의 유입과 유출이 거의 없어 합체 내부가 과열되어 냉각효과가 매우 좋지 않았다.

참 고 문 헌

[1] 송규섭외, 1992, 정보통신 시스템 기구장치의

EMI/EMC 설계기술, 제6회 ETRI 학술발표대회 논문집, pp.83~94.

- [2] Toshinory Mori, "Cabinet shielding design for telecommunication system", NTT R&D vol.40 no.4 1991, pp.513-520.
- [3] Makoto Tazaki and Kowashi Taketomi, "Packaging Technology," 電子情報通信學會誌 廣域 ISDN 特輯 1991, 11, pp.1222~1229.
- [4] C. C. Chen, 1973, Transmission of microwave through perforated flat plates of finite thickness, IEEE Trans. Microwave theory Tech., pp.1~6.
- [5] S. W. Lee, 1982, Simple formulsars for transmission through periodic metal grid or plate, IEEE Trans. Antennas Prop., AP-30, pp.904~909.
- [6] T. Y. Ottoshi, 1972, A study of microwave leakage through perforated flat plates, IEEE Trans. Microwave Tech., pp.235~236.
- [7] W. T. Cathey, 1983, Approximation expression for penetration through circular apertures, IEEE Trans. EMC, vol. EMC-25, no.3, pp.339~345.
- [8] D. J. White, 1988, Electromagnetic Shielding-EMC Handbook, vol.39.
- [9] H. A. Mendez, 1978, Shielding theory of enclosures with apertures, IEEE Trans. EMC, vol. EMC-20, no.2, pp.296~305.
- [10] L. O. Hoelt, 1989, Predicted shielding effectiveness of apertures in large enclosures as measured by MIL-STD-285 and other method, Proceeding of IEEE EMC Symposium, pp.377~379.
- [11] G. Cerri외, 1992, Theoretical and experimental evaluation of the electromagnetic radiation from apertures in shielded enclosures, IEEE Trans. on EMC, vol.134, no.4, pp.423~432.
- [12] Henry W. Ott, 1989, Noise Reduction Techniques in Electronics System, JWS.

- [13] 情報調査會, シールド材料と手法, pp.164~167.
- [14] MIL-STD-285, 1956, Method of attenuation measurement for enclosures, electromagnetic shielding, for electronic test purpose, DOD.
- [15] 송규섭, 김동용, 1993. 변형된 MIL-STD-285 측정법에 따른 함체의 차폐 효과에 대한 연구, 전북대학교 전기전자회로 합성연구소 논문집 제2집, 69~79.
- [16] Paul A. Chatterton and M. A. Houlden, 1991, EMC Electromagnetic Theory to Practical Design, Wiley, Chichester.
- [17] J. E. Butler Jr, 1989, Introduction to Shielding, Proceeding of EXPO '89, A4.1-A4.9.