

Bi-2212 고온초전도체 튜브의 자기확산에 관한 연구

An experimental study of magnetic diffusion in Bi-2212 High-Tc superconductor tube

정성기*, 설승윤**

S. K. Jung*, S. Y. Seol**

Abstract: Transient magnetic diffusion process in a melt-cast Bi₂Sr₂CaCu₂O_x(Bi-2212) tube was studied by experimental and numerical analyses. The transient diffusion partial differential equation is transformed into an ordinary differential equation by integral method. The penetration depth of magnetic field into a superconducting tube is obtained by solving the differential equation numerically. The results show that the penetration depth as a function of time which is somewhat different from the results by Bean's critical state model. The reason of the difference between the present results and that of Bean's model is discussed and compared in this paper. This experiment measure the magnetic flux density in the superconductor after supply direct-current of Bi-2212 rounded by copper coil. This study was discussed of valid of a previous numerical solution which is compared by the penetrate time and the magnetic flux density difference of between the present results and the numerical solution.

Key Words: Bi-2212, Superconductor tube, Magnetic diffusion

1. 서 론

현재 고온 초전도체의 응용분야 중 가장 실용화 가능성이 높은 것 중 하나가 초전도체를 이용하여 전력계통에 과도한 사고전류가 흐르지 못하도록 하는 Fault Current Limiter(FCL)이다. 이 한류기(FCL)의 유력한 후보 중 하나인 Superconductor Shielded Core Reactor(SSCR)는 고온 초전도체의 마이스너 효과를 이용하는 것으로 Superconductor tube 또는 slab 외부에 감겨진 Copper coil과 내부의 Iron coil로 구성되어 있다. 초전도체 외부의 구리코일에 과도한 전류가 흘러 코일에서 발생하는 자계가 초전도체의 임계자계를 초과하면 외부자계가 초전도 내부로 침투하여 내부에 배치된 iron coil에 영향을 미치게 된다. 이때 내부의 코어에 감겨진 감지코일을 이용하여 자계의 침투여부를 감지하고 사고전류 발생여부를 판단한다. 때문에 SSCR의 실용화를 위해서는 임계값 이상의 자계에 놓

여진 초전도체의 자기확산 특성에 대한 연구가 선행되어야 한다[1,2].

초전도체의 자기확산에 대한 기존의 연구는 초전도 내부의 차폐전류 밀도가 임계전류 밀도와 같다는 Been's critical state model(이하 Been 모델)을 기반으로 진행되었다[3,4]. Been 모델은 초전도체 내부자계의 구배에 의해 결정되는 차폐전류 밀도를 임계전류 밀도로 가정하는 것이므로, 자계의 침투여부는 외부자계의 변화율과는 무관하며, 오직 그 크기만에 의해 결정된다는 가설이다. 때문에 Been 모델은 정상상태의 자기확산을 설명하는 것은 가능하다. 교류전류나 주기적인 자기장의 변화에 의해 발생하는 비정상상태의 자기확산을 설명할 수는 없음이 제기되었다[5,6,7].

이러한 Been 모델의 한계를 보완하기 위해 기존 논문에서는 MCP방법으로 제작한 Hi-2212 튜브를 대상으로 하여 외부자기장에 의해서 초전도체 내부에 비정상적으로 전파되는 자기확산에 관한 방정식을 유도하였다. 자기확산 방정식을 통해 얻어진 결과인 침투시간에 따른 자기 침투깊이(penetration depth)를 Been 모델에 의하여 구한 침투깊이와 비교하여 비정상 상태에서의 자기확산은 정상상태에서의 Been 모델과 차이가 있음을 확인하였다[8]. 따라서 본 논문은 자기확산 방정식을 통해 얻어진 수치해석 결과에 대한 타당성에 대해 실제 실험을 통해서 논하였다.

2. 해 석

2.1. 해석 모델

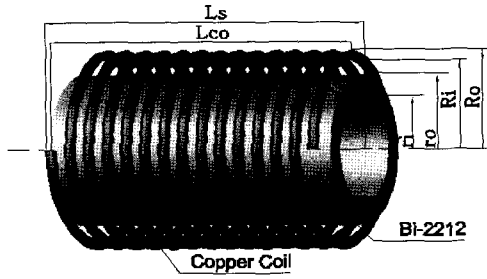
그림 1(a)은 본 실험에 사용된 실제 실험 개략도를 보여주고 있다. 초전도 튜브의 길이 L_s 는 70.5mm, 안쪽 반지름(r_i) 7.3mm, 외부 반지름(r_o) 12.8mm인 MCP 방법으로 제작된 초전도체(Bi-2212)로써 튜브 외부에 지름 0.6mm인 구리선을 촘촘하게 1200턴(turn) 감아서 만든 길이(L_{co}) 66.8mm, 안쪽 반지름(R_i) 13.4mm 바깥 반지름(R_o) 24.3mm의 여기코일(exciting coil)을 설치하였다. 이 여기코일을 통해서 초전도체 외부에 자기장(f)을 주었다. 그림 1(b)은 기존 논문의 해석 모델로써 외부 권선에 통전하여 튜브 외부에 자기장 f 가 걸릴 시 초전도 튜브 내부로 자기장이 깊이 δ 만큼 침투된 양상을 보이고 있다[8]. 여기 코일의 안쪽 지름은 26.8mm로 초전도체 튜브 바깥 지름보다 약간 크도록 제작되어 코일과 튜브 사이에 냉각제가 통과할 수 있도록 하였다. 이는 구리코일에서 발생하는 열이 초전도체 튜브에 영향을 주지 않도록 하기 위함이다. 초전도체 튜브와 구리코일은 액체질소에 담겨져 있으므로, 액체 질소의 온도와 동일한 것으로 간주하였다.

* 학생회원 : 전남대학교 기계공학과 석사과정

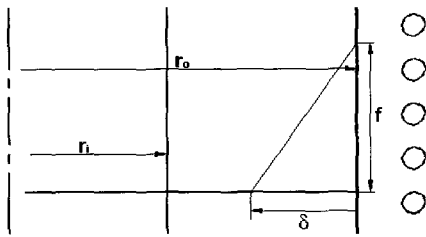
** 정 회 원 : 전남대학교 기계시스템공학부 부교수

원고접수 : 2003년 8월 1일

심사완료 : 2003년 9월 8일



(a) 실제 모델



(b) 해석 모델

그림 1. 모델의 개략도

Fig 1. Schematic diagram of sample

2.2 지배방정식

원통좌표계에서 축 방향으로 작용하는 자속밀도(B)는 다음과 같은 편미분방정식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(rD \frac{\partial B}{\partial r} \right) = \frac{\partial B}{\partial t} \quad (1)$$

초전도 튜브 내부에 형성되는 원주방향의 전류밀도(J)는 다음과 같이 정의한다.

$$J = -\frac{1}{\mu_0} \frac{\partial B}{\partial r} \quad (2)$$

여기서 B는 초전도체 내부에 발생되어지는 자속밀도이고, μ_0 는 자유공간의 투자율이다. D는 자기확산계수로써 ρ/μ_0 로 표현되고, ρ 는 전기 비저항이다.

초기에는 구리코일에 전류가 흐르지 않기 때문에 초전도 튜브 내부의 자속밀도는 제로이다.

$$B=0, \quad t=0 \quad r_i < r < r_o \quad (3)$$

구리코일에 전류가 흐르면 튜브 외부에는 코일에 의해 발생된 자기장이 인가되고 튜브 내부는 자기장의 구배가 제로인 조건이 된다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial B}{\partial r} &= 0, & r &= r_i \\ B &= f(t), & r &= r_o \end{aligned} \quad (4)$$

$f(t)$ 는 구리 코일에 의해 형성된 단위 길이당의 자기장을 의미한다.

$$f(t) = a\mu_0 \frac{NI(t)}{L_c} \quad \text{at } r=r_o \quad (5)$$

여기서 L_c 는 코일의 길이이고, a 는 유한 길이 코일에 대한 보정 값이다. NI 은 여기전류로써 구리선의 감긴수(N)에 통전된 전류(I)를 곱해준 값이다.

원통좌표계에서의 자기확산 방정식 (1)을 r 에 대하여 적분하면 다음과 같다.

$$\frac{d}{dt} \int_{r_o-\delta}^{r_o} rBdr = \left(rD \frac{dB}{dr} \right)_{r=r_o} - \left(rD \frac{dB}{dr} \right)_{r=r_o-\delta} \quad (6)$$

침투깊이 δ 는 튜브 바깥 면으로부터 측정된 것이다. 따라서 식(6)은 $r_o-\delta < r < r_o$ 사이에 외부 자기장에 의한 자기침투가 일어나고 있고, $r_i < r < r_o-\delta$ 사이에는 아직 자기장이 침투하고 있지 않은 상황임을 의미한다. 자기장이 침투하지 못한 곳의 차폐전류는 제로이기 때문에 식(2)에 의하면 자기장의 구배 dB/dr 이 제로가 됨을 알 수 있다. 따라서 $r=r_o-\delta$ 에서 $dB/dr=0$ 가 된다.

식(6)을 이용하여 자기 침투깊이를 구하기 위해서는 초전도 튜브 내부에 형성되는 자기장을 가정해야 한다. 초전도체 내부의 자기장 분포가 선형적으로 변화한다는 가정에 의하여 자기장의 분포를 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$B = f(t) \cdot \left(\frac{r - (r_o - \delta)}{\delta} \right) \quad (7)$$

선형 가정을 사용하면 B의 구배 dB/dr 는 $f(t)/\delta$ 가 된다. 전류밀도 J는 자기가 침투된 $r_o-\delta < r < r_o$ 에서는 $J = -(1/\mu_0)(f(t)/\delta)$ 와 같은 일정한 상수값이 되고, 자기침투가 안된 $r_i < r < r_o-\delta$ 에서는 제로가 된다.

식(7)을 식(6)에 대입하여 정리하면 시간에 따른 침투깊이를 구할 수 있는 상미분방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{\frac{D}{r_o} \frac{f}{\delta} - \left(\frac{1}{2} \frac{\delta}{r_o} - \frac{1}{6} \frac{\delta^2}{r_o^2} \right) \frac{df}{dt}}{\left(\frac{1}{2} \frac{1}{r_o} - \frac{1}{3} \frac{\delta}{r_o^2} \right) f} \quad (8)$$

$t=0$ 에서 $\delta=0$ 인 초기조건에서 식(8)의 미분방정식을 풀면 시간에 따른 침투깊이를 구할 수 있다.

2.3 해석결과

Bean 모델의 한계를 보완하기 위해 Bi-2212 튜브를 대상으로 하여 외부자기장에 의해서 초전도체 내부에 비정상적으로 전파되는 자기확산에 대한 방정식을 온도에 관한 식은 배제한 후 유도하여 그 과정을 수치 해석하였다.

전류가 시간에 따라 일정하게 증가하는 동안의 침투깊이 변화를 보기 위하여 NI 을 다음과 같이 근사하였다.

$$NI = s \cdot t \quad (9)$$

t 는 침투시간이고, s 는 시간에 따라 변해지는데 NI 의 기울기이다. 해석에서 사용된 s 의 범위는 100~4000(A/ms)이다.

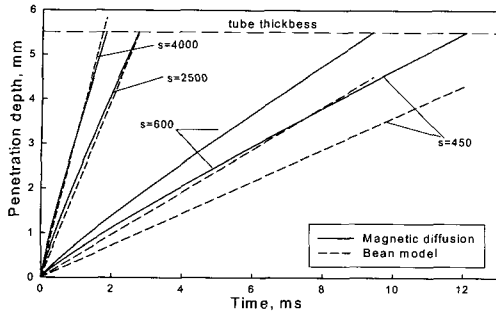


그림 2. NI_p 변화율에 따른 침투시간의 변화
 Fig. 2. Variations of the penetration depth with time for various values of NI_p .

그림 2는 외부 권선에 흐르는 전류 증가율(s)에 따른 침투깊이 δ 의 시간에 따른 증가 양상을 나타낸 수치해석 결과들이다. 점선은 Bean 모델에 의한 침투깊이를 나타낸다. Bean 모델에서의 침투 깊이는 외부 자기장의 세기에 의해서만 결정되므로, 식(9)과 같이 선형으로 코일 전류가 변화하는 경우 침투깊이도 선형으로 증가한다. 자기확산 방정식에 의한 침투깊이는 시간에 따라 선형으로 변화하지 않고, 또한 Bean 모델에 의한 침투깊이와도 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 s 값이 적을 경우 더 큰 차이를 보이는 반면, s 가 증가함에 따라 Bean 모델과의 차이가 줄어들어서, $s=2500A/ms$ 에서는 Bean 모델의 침투깊이가 자기확산모델의 침투깊이에 근접하였다.

3. 실험

3.1. 실험장치

본 실험에 사용된 고온 초전도체 Bi-2212 튜브는 한국 전기 연구소에서 제작하였다. 실험장치의 구성은 그림 3과 같이 구성하였다. 그림 3(a)의 전원공급장치는 HP사의 6572(A) DC-Power Supply를 사용하였고, Bi-2212 초전도체 튜브 외부의 여기 코일(exciting coil)에 의해서 발생하는 자속밀도 B 는 LakeShore사의 Model 421 Gaussmeter를 사용하여 측정하였다. 그림 3(b)에서 처럼 Gaussmeter의 Hall probe를 Bi-2212

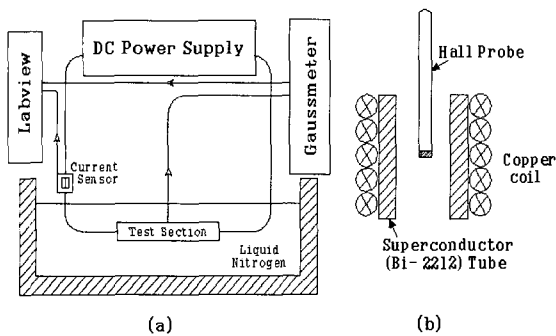


그림 3. 실험장치 개략도
 Fig. 3. Schematic diagrams of experimental apparatus and test section.

초전도체 튜브내의 정중앙에 놓고 자속밀도를 측정하였다. 측정시간이 ms단위로 산출되는 관계로 Gaussmeter의 Hall probe에서 발생하는 아날로그 전압 신호를 National Instruments사의 Labview 프로그램 채널에 연결하여 측정하였다. 여기코일에 흐르는 여기 전류 NI 를 측정하기 위해서 스위스의 LEM Components사의 Current Transducer LA 55-P인 전류 센서를 사용하여 Bi-2212 초전도체에 흐르는 전류를 측정하였다. 이러한 방법으로 자속밀도와 여기전류를 동시에 측정하므로써 침투되는 시점의 시간을 구할 수 있게 되었다. 본 연구의 실험들은 온도가 77K인 액체 질소(LN₂) 속에서 수행되었다. 실험샘플은 액체질소에 넣기 전에 충분히 냉각을 시켜주고 난 후 액체질소 속에 넣었다.

3.2 실험결과

실험에서는 실험에서는 Bi-2212 초전도체 튜브를 대상으로 해석의 타당성을 검증하기 위해서 실험을 하였다. 그림 4는 고온 초전도체 튜브에 pulse형식으로 여기전류 NI_{max} 를 5383A로 공급할 때 발생하는 자속밀도 B 의 변화량과 NI 의 변화량을 묘사하였다. 여기전류 NI 의 변화량은 전류센서로 측정된 것이고, 초전도체 튜브의 자속밀도 B 는 Hall probe로 측정된 것이다. 그림 4를 살펴보면 초전도체로 자기장이 침투되어 자속밀도가 측정되는 시점이 바로 침투시간이 되는데, $NI_{max}=5383A$ 일 때의 침투시간은 13.6ms 이고 침투된

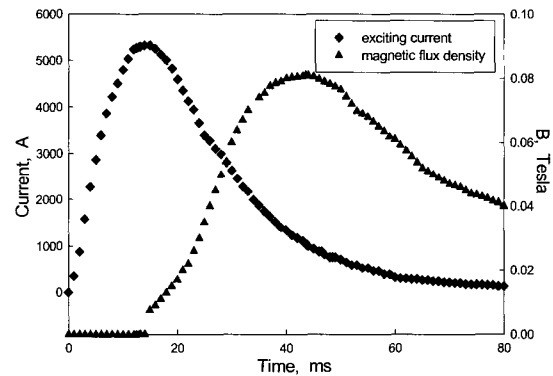


그림 4. $NI_{max}=5383A$ 일 때 B 와 NI 의 변화량
 Fig. 4. Test result of the magnetic flux density B , in the superconductor tube $NI_{max}=5383A$

시점의 여기전류 NI_p 는 5182A($s=381A/ms$)로 측정되었다. 내부자계는 42.6ms 지점에서 최고가 되며 자속밀도 B_{max} 은 0.0835T(0.835K-Gauss)로 측정되었다. 실험시작 80ms 경과후 초전도체 튜브 내에 침투된 자속밀도는 0.042T까지 감소하게 된다. 그림 4에는 나와 있지 않지만 실험시간을 5min 까지 측정해 본 결과 자속밀도가 0.017T정도까지 감소되어진 상태로 측정되었다. 만약 여기코일(exciting coil) 안에 Bi-2212 초전도체 튜브가 존재하지 않는다면 자속밀도는 제로로 측정되어진다.

그림 5는 고온 초전도체 튜브에 pulse형식으로 여기 전류 NI_{max} 를 6800A로 공급할 때 발생하는 자속밀도 B 의 변화량과 NI 의 변화량을 묘사하였다. $NI_{max}=6800A$ 일 때 Power Supply로 공급된 압페어는 5.8A정도가 된다. 자속밀도가 측정되는 시점의 침투시

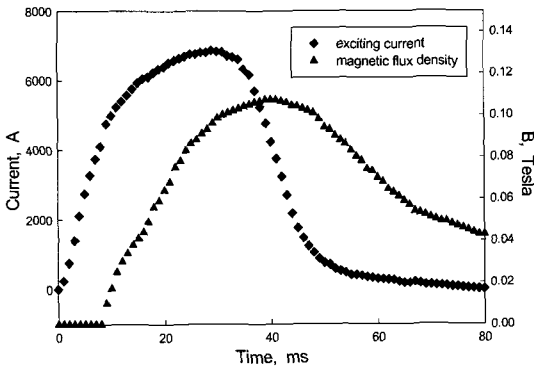


그림 5. $NI_{max}=6800A$ 일 때 B 와 NI 의 변화량
Fig. 5. Test result of the magnetic flux density B , in the superconductor tube $NI_{max}=6800A$

간은 8.7ms이고 침투된 시점의 여기전류 NI_p 는 5177A($s=595A/ms$)로 측정되었다. 이후 내부자계가 38.5ms 지점에서 최고가 되며 자속밀도 B_{max} 은 0.103T로 측정되었다. 실험시작 80ms 경과후 초전도체 튜브 내에 침투된 자속밀도는 0.043T까지 감소하게 되고 그림 4와 거의 흡사하게 자속밀도가 감소하는 것을 볼 수 있다.

그림 6은 고온 초전도체 튜브에 pulse형식으로 여기전류 NI_{max} 를 18636A로 공급할 때 발생하는 자속밀도 B 의 변화량과 NI 의 변화량을 묘사하였다. $NI_{max}=18636A$ 일 때 Power Supply로 공급된 암페어는 15.58A정도가 된다. 액체질소에 초전도체가 담겨져 있고 pulse형식으로 공급되어지기 때문에 15.58A가 공급이 가능하였다. 그렇지 않다면 burn-out되는 상황에 이르게 될 것으로 판단된다. 그림 6을 살펴보면 자속밀도가 측정되는 시점의 침투시간은 2.2ms로 측정되었다. 이후 내부자계가 30ms 지점에서 최고가 되며 자속밀도 B_{max} 은 0.307로 측정되었다. 실험시작 80ms 경과 후 초전도체 튜브 내에 침투된 자속밀도는 0.04까지 떨어졌다.

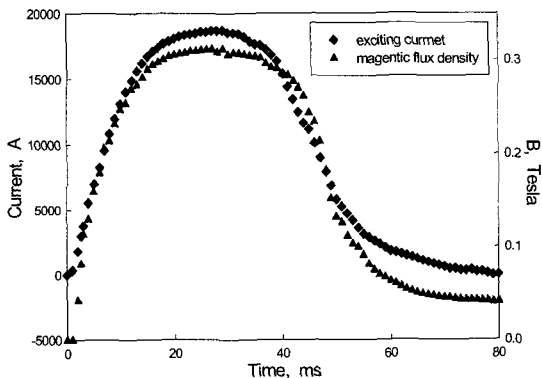


그림 6. $NI_{max}=18636A$ 일 때 B 와 NI 의 변화량
Fig. 6. Test result of the magnetic flux density B , in the superconductor tube $NI_{max}=18636A$

4. 실험과 수치해석 결과 비교

실험에서 측정된 여기전류 NI_{max} 에 따른 침투시간과 자속밀도 변화곡선과 수치해석에서 구한 NI_{max} 에 따른 침투시간과 자속밀도 변화곡선을 비교함으로써 고온 초

전도체 Bi-2212 자기확산에 관한 특성변화를 파악할 수 있었다

그림 7은 실험을 통해서 구해진 전류 증가율(s) 변화 값에 따른 침투시간과 수치해석에서 구해진 침투시간을 비교한 그림이다. 그림 7을 살펴보면 실험에서 측정된 데이터와 수치해석에서 구한 결과값이 비교적 일치하고 있지만 전류 증가율(s)값이 증가할수록 차이를 보이기 시작하였다. $s=300A/ms$ 일 때 실험에서의 침투시간은 15.9ms이고 여기전류 NI_p 는 5201A로 측정되었다. 수치해석에서 구한 침투시간은 17.2ms이고 여기전류 NI_p 는 5160A로써 1.3ms 정도의 침투시간 오차가 발생하였다. 침투 시점의 여기전류 NI_p 는 차이가 없다. 이때 Bean 모델은 초전도체 두께 5.5mm에서 단지 4.09mm정도밖에 침투가 되지 않은 상태로 더 이상의 침투는 허용되지 않는다. $s=600A/ms$ 일 때 실험에서의 침투시간은 8.21ms이고 여기전류 NI_p 는 5177A로 측정되었다. 하지만 해석에서 침투시간이 8.3ms로 측정되어 가장 오차 범위가 적은 구역으로 나타났지만 여기전류 NI_p 가 5640A로 측정되어 실험결과보다 높게 나왔다. 또한 이 부분에 대한 Bean 모델의 침투현황은 나타나지 않는다. $s=1000A/ms$ 일 때 실험에서의 침투시간은 7.67ms이고 여기전류 NI_p 는 7385A로 측정되었다. 수치해석으로 구한 침투시간은 6.1ms 정도로 오차범위가 다시 벌어지면서 해석에서 구한 침투시간들이 빨라짐과 동시에 여기전류 NI_p 값이 상대적으로 적게 측정되어진다. 이때부터 실험결과인 여기전류 NI_p 값과 침투시간이 해석결과보다 상대적으로 높은 결과값을 가지게 된다. 이것은 Y. S. Cha 논문에서도 언급했듯이 전기비저항 ρ 는 온도의 함수로써, 초전도체 외부

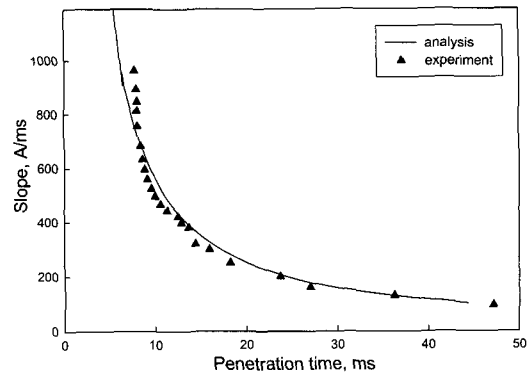


그림 7. 실험과 해석을 통해 침투시간 결과 비교

Fig. 7. Comparison of the penetration time result of experiment and analysis data

에서 발생하는 온도의 변화에 따라 전기비저항 ρ 값도 영향을 받기 때문에 온도의 변화율에 맞는 전기비저항 ρ 값을 산출해야만 한다. 하지만 해석부분에서는 온도의 영향을 고려하지 않은 상태에서 수치해석을 수행하였기 때문에 근본적인 차이가 발생했다고 본다. Bean 모델로 구한 침투깊이는 전류 증가율(s)이 2700A/ms일 때부터 침투가 완료되어 초전도체 튜브에 자기장이 침투하게 되고 자속밀도를 측정할 수 있게 된다. 이전까지의 전류 증가율(s)값에서는 침투가 되지 않아 자속밀도를 측정할 수 없게 되므로써 침투여부를 확인할 수가 없다. 따라서 Bean 모델을 이용하여 비정상적 자기확산 문제를 해석하기에는 무리가 있다고 본다.

그림 8은 실험에서 구한 NI_{max} 변화 값에 따른 자속밀도 B 와 수치해석에서 구한 NI_{max} 변화 값에 따른 자

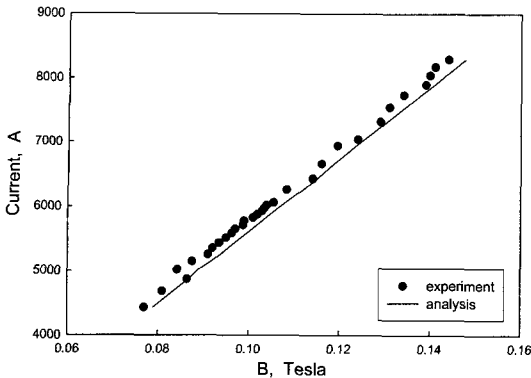


그림 8. 실험과 해석, 계산식을 통한 자속밀도 결과 비교
Fig. 8. Comparison of the magnetic flux density result of experiment and analysis data

속밀도 B 를 비교하였다. 그림 8을 살펴보면 자기확산 방정식으로 수치 해석하여 구한 데이터 값들을 일직선 상에 놓고 실험적 데이터들을 비교 분석해 본 결과 거의 유사한 자속밀도 분포를 나타내고 있다. 이를 통해서 수치해석으로도 충분히 Bi-2212 초전도체 튜브 내 자기확산에 따른 자속밀도 분포를 구할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

초전도체(Bi-2212)튜브의 비정상적 자기확산 과정을 실험적 연구와 수치 해석적 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 비정상 자기확산 모델을 통해서 구해진 침투시간에 따른 침투깊이 변화는 빈 모델에서 구한 침투깊이 변화와 차이가 있음을 확인하였다. (2) 실험에서 측정된 전류 증가율(s)에 따른 침투시간과 자속밀도 변화곡선은 자기확산방정식을 이용하여 수치해석으로 구한 침투시간과 자속밀도 변화곡선과 비교하여 아주 유사한 양상을 갖고 있는 것을 확인하였다. (3) 초전도체 외부의 온도 변화에 의한 영향을 고려하기 위해서는 실험을 통해 각각의 온도에 따른 $B-J$ 관계를 얻어내어 전기비저항(ρ)과 자기확산계수(D_m)를 구해야 한다.

이상의 결론에 의해 비정상적 자기확산을 해석할 때 본 논문에서 사용한 자기확산 모델을 이용하면 정확한 해석을 할 수 있을 것으로 사료된다. 하지만 여기코일에서 발생하는 온도 변화가 초전도체에 미치는 영향에 대해서도 많은 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R01-2000-000-00308-0(2002))지원으로 수행되었음

참 고 문 헌

[1] H. Ueda, A. Ishiyama, H. Kado, M. Ichikawa, "Thermal and Magnetic Characteristic of Bulk

Superconductor and Performance Analysis of Magnetic Shielding Type of Superconducting Fault Current Limiter", IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol.11, No.1, March,2001

[2] P. Bauman, M. Friesen, D. Phillips, "On the periodic behavior of solution to d diffusion problem describing current in high-temperature superconductor", Physica, Vol.D, No.137, pp.172-191, 2000

[3] F. Bass, B.Ya. Shapiro, M. Shvarser, "Slow Magnetic Flux Diffusion in Type-II Superconductors", Solid State communications, Vol.103, No.7, pp.399-401, 1997

[4] Yon-Do. Chun, Youn-Hyun Kim, Ju Lee, Jung-Pyo Hong and Jong-Woo Lee, "Finite Element Analysis of Magnetic Field in High Temperature Bulk Superconductor", IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol.11, No.1, March,2001

[5] Y.S. Cha, T.R. Askew, "Transient Characteristics of High-Tc Superconductor Tube Subjected to Internal and External Magnetic Field", IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol.11, No.1, March,2001

[6] Y. S. Cha, "Magnetic diffusion in high-Tc superconductors", Physica C, Vol. 361, p. 1, 2001.

[7] Y. S. Cha, "Magnetic diffusion and dissipation in high-Tc superconductor subjected to sinusoidal applied field", Physica, Vol.C, No.301, pp.1-12, 2001

[8] S. Y. Seol, S. K. Jung, "Analysis of Transient Magnetic Diffusion in a High-Temperature Superconductor Tube", Trans on EEM, Vol. 15, No. 11, P. 991, 11 2002.

저 자 소 개



정성기(鄭成基)

1975년 1월 13일생, 2001년 조선대 공대 정밀기계공학과 졸업, 2003년 8월 전남대학교 대학원 기계공학과 석사졸업



실승윤(薛勝允)

1960년 04월 16일생, 1983년 서울대 기계설계공학과 졸업, 1985년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(공학석사), 1993년 미국 Texas Tech U. 졸업(공학박사), 현재 전남대학교 기계시스템공학부 부교수