
충격파관을 이용한 MHD발전기 내부 반경방향 분포의 평가

배철오* · 안병원** · 김윤식*** · 이성근**** · 박영산*****

A evaluation of internal radial direction's distribution of MHD generator using shock tube

Cherl-O Bae, Byong-Won Ahn, Yoon-Sik Kim, Sung-Geun Lee, Young-San Park

요 약

MHD 발전에는 두가지 형의 발전기가 있다 : 리니어형 파라데이 발전기와 디스크형 홀 발전기. 본 논문에서는 디스크형 홀 발전기를 그 실험 대상으로 하고 있다. 디스크형 홀 발전기는 매우 짧은 시간에 작동 유체를 단열적으로 압축하는 충격파관에 의해 구동된다. 작동 유체로서는 세슘을 시드로 한 헬륨이 사용되었다. MHD 발전기에 일어나는 현상은 매우 복잡하기 때문에 단지 실험을 통하여 전체의 상황을 알기란 어렵다. 더욱이 발전시간이 매우 짧고 작동유체는 매우 빠른 속도로 흐르기 때문에 발전기 채널 내부에서 일어나는 것을 정확하게 알 수 없다. 충격파관 구동 MHD 발전 실험 장치를 이용하여 경계층내에서 일어나는 것들을 측정하란 거의 불가능하다. 위와 같은 이유로, 디스크형 MHD 발전기 내부에서 일어난 몇몇 값들이 어떻게 변하는 지 명확히 알기 위해, 몇 개의 그래프가 예측된 실험 데이터를 이용한 계산을 통해서 선형적으로 그려졌다. 또한 실험만으로는 얻어질 수 없는 다른 계산결과도 본 논문에서 평가하고 있다. 그리고 이들 계산된 결과치가 계산이 얼마나 정확히 이루어 졌는지 실험 데이터와 비교하고 있다.

* 한국해양대학교 대학원 기관공학과 박사과정 수료

** 목포해양대학교 기관공학부 전임강사, 조교수

*** 한국해양대학교 전기시스템공학과 교수

**** 한국해양대학교 전기시스템공학과 조교수

***** 목포해양대학교 기관공학부 전임강사

접수일자 : 2000년 4월 28일

Abstract

There are two types of generators in the MHD generation ; linear type Faraday and disk type hall generator. In this paper, it is experimented disk type hall generator. Disk type generator is driven by shock tube that compresses working gas isentropically in a very short time. As a working gas, helium gas seeded with cesium is used. it is difficult to confirm the whole condition thorough only experiment because the things happened in MHD generator is very complex. Furthermore we can't know exactly what happen at the inside of generator's channel because the time of generation is very short and working gas flows out very high speed. Expecially it is almost impossible to measure the things occurred in the boundary layer using MHD generation experimental equipment driven shock tube. With above reasons, to know certainly how the several values happened inside disk MHD generator change, some graphs were drawn linearly through calculation using measured experimental data. For the more, other calculated results which can't be obtained by only experiment are considered in this paper. And these calculated results are compared to experiment data how exactly done the calculation.

1. 서 론

MHD(Magneto-Hydro-Danamic)발전기^[1]는 지난 수 십년 동안 여러 형태의 발전기가 제작되어 실험이 계속되어 왔는데, 그 중에서도 swirl vane이 설치된 2장의 원판을 겹친 형상의 디스크형 발전기^{[2][3]}가 리니어형의 발전기^[1]보다 발전출력 및 앞으로 실제 발전플랜트의 적용 가능성으로 볼 때 우수함이 실험적으로 확인되어 현재는 디스크형의 발전기를 중심으로 실험이 활발히 이루어지고 있다^[2]. 특히 충격파관을 이용한 디스크형 발전기의 본 실험에서는 엔탈피 추출율이 실제 발전플랜트에 적용할 발전성능의 목표치 30~35%^[4]를 만족할 만한 결과값을 실험적으로 달성^[5]하였다. 그러나 등 엔트로피 효율의 목표치 75~80%^[4]에는 아직 미치지 못하고 있어 이를 달성하기 위해 여러 운전조건을 변화시켜 등 엔트로피 효율 향상에 관해 연구 중에 있다. 등 엔트로피 효율향상과 관련하여 여러 변수 즉, 홀 전계, 홀 전류, 발전기내의 유속, 발전기의 원주방향에 흐르는 파라데이 전류 등을 평가해야만 하지만 이것에는 여러 어려운 문제점이 있어 지금까지도 이들의 값을 실험적으로 평가된 예는 많지 않다. 게다가 MHD 발전기내에서 일어나는 현상은 매우 복잡하여 계측만으로는 그 전체 현상을 명확히 확인하는 것 또한 매우

어렵다. 그래서, 실험적으로 계측할 수 없는 현상에 대해서는 본 발전실험의 운전조건을 통하여 얻어진 실제 데이터를 기본으로 수치계산을 행하였고, 몇몇 개소에서 계측한 데이터를 가지고 발전기 채널 전반에 걸쳐 선형적으로 도시화 함으로써 내부에서 변화하는 현상을 간접적으로나마 파악해 보았다. 또한 이들 계산결과를 실험 데이터와 비교하여 계산을 검증해 보았다.

2. 실험장치 및 방법

그림 1은 본 연구에서 사용한 충격파관 구동 MHD발전 실험장치를 나타내고 있다. 이 실험장

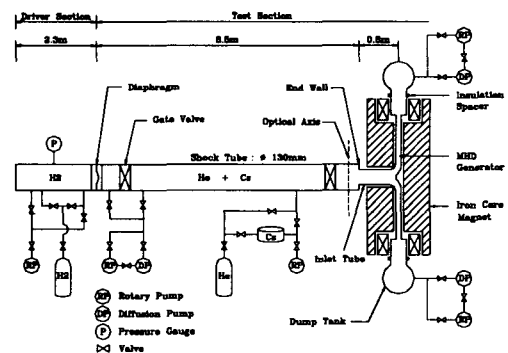


그림 1. 충격파관 구동실험 장치
Fig. 1 The driver experimental facilities of shock tube

치는 크게 충격파관, Seed 주입장치, 디스크형 MHD 발전기, 수냉철심 상전도자석으로 이루어져 있다.

충격파관은 길이가 약 10[m]의 스테인레스제이고, 고압부와 저압부는 알루미늄제의 원판으로 차단되어 있다. 저압부는 작동기체로써 세슘(Cs)을 Seed로 한 헬륨(He)을 사용하고, 고압부에는 이동도가 헬륨보다 빠른 수소를 이용했다. 수냉철심 상전도자석은 최대로 약 2.6[T]정도의 자속밀도를 발생 할 수 있다. 먼저 알루미늄 원판을 실험하고자 하는 압력에 터질 수 있는 두께의 것을 선택하여 고압부(driver section)와 저압부(test section) 사이에 설치하고 불순물의 혼입을 막기 위해 저압부는 rotary pump와 유확산펌프(diffusion pump)를 이용해 10⁻⁴[torr] 정도까지 진공을 유지한다. 저압부에 헬륨과 세슘을 혼합한 기체를 주입하고 고압부에서 서서히 수소가스를 주입하게 되면 일정압력에서 알루미늄 원판이 파괴되고 순식간에 헬륨과 세슘 혼합 작동기체는 단일 압축이 되어 발전기 채널 안으로 들어가 발전이 이루어지고 여러 계측 센서를 통하여 데이터를 컴퓨터로 읽어 들인다.

그림 2에 발전기 입구에 24개의 Swirl Vane^[6]을 설치한 디스크의 내부 정면도를 나타내었다. 디스크에는 3개의 전극이 동심원상으로 설치되어 있고, 중심으로부터 Anode(A), 제1 Cathode(C), 제2 Cathode(C) 순으로 되어 있다. 본 연구에서는 Anode와 제1 Cathode(C) 사이에 외부부하를 접속

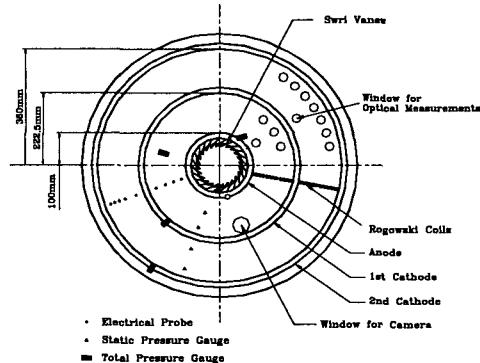


그림 2. 디스크형 발전기의 내부 정면도
Fig. 2 The front side channel of disk type generator

하여 발전을 행하였다. 발전기의 원주방향으로 흐르는 파라데이 전류는 대전류에서도 포화되지 않도록 공심형 Rogowski coil^[7]에 의해 Anode와 제1 Cathode 사이를 3분할하여 측정하였다. hall 전압은 전압측정용 probe를 6개소(r = Anode, 120, 145, 170, 200[mm]), 제1 Cathode의 위치에 설치하여 Anode와 각각의 위치간의 전압을 계속하고, 정압은 5개소(r = 100, 110, 150, 165, 200[mm])를 설치하여 계속하였다. 한편 전압(全壓)은 keel관^[8]을 이용하여 3개소(r = 100, 150, 222.5[mm])에서 계측을 행하였다.

3. 실험조건

본 실험의 전반적인 실험조건을 표 1에 나타낸다. 실험조건 중 부하저항과 자속밀도는 그 크기와 세기를 각각 변경을 시켜가면서 발전기 성능에 어떠한 영향을 끼치는 지 실험하였다.

표 1. 실험조건

Table 1. Experiment condition

Working gas	He + Cs
Stagnation temperature	2100 [K]
Stagnation pressure	1.7 [atm]
Seed fraction	0.3 [× 10 ⁻⁴]
Thermal input	1.08 [MW]
Load resistance	1.0 ~ 7.0 [Ω]
Magnetic flux density	0.91 ~ 2.55 [T]

4. 발전기내부 반경방향 분포의 평가

MHD 발전의 기초방정식은 정상상태에서 여러 값들이 반경방향만으로 변화한다라고 가정할 경우, 아래와 같이 나타낼 수 있다.

질량 보존식

$$\rho u_r A = const. \dots\dots\dots (1)$$

운동량 보존식

$$\frac{\partial}{\partial r} (\rho u_r^2 + p_r) A = p_r \frac{\partial A}{\partial r} + A(\rho u_\theta^2 + J_\theta B) - AP_{Lr} \dots\dots\dots (2)$$

일반화된 오음식

$$J_r = \frac{\sigma}{1 + \beta^2} (E_r + \beta u_r B + u_\theta B) \dots\dots\dots (3)$$

$$J_\theta = \frac{\sigma}{1 + \beta^2} (\beta E_r - u_r B + \beta u_\theta B) \dots\dots\dots (4)$$

위에서 기술한 5가지의 식 중에서, 실험을 통해서 알 수 없는 미지의 변수는,

- ① 작동기체 밀도 ρ ,
- ② r 방향 유속 u_r ,
- ③ θ 방향 유속 u_θ ,
- ④ 홀 계수 β ,
- ⑤ 전기전도도 σ 로 5개 이므로, 이들의 미지수를 해석하여 풀 수 있다. 벽면마찰에 의한 저항력 즉, 작동기체의 압력손실인 r과 θ 방향의 P_{Lr} , $P_{L\theta}$ ^[11]은 아래의 식을 이용하여 평가하였다.

$$P_L = C_f \left(\frac{1}{2} \rho u^2 \right) \frac{C}{A} \dots\dots\dots (5)$$

윗 식에서 국소표면 마찰계수 C_f ^[11]는, 자장이 존재하지 않는 경우 평판활류 경계층에서 얻어진 경험식을, 자장이 존재하는 경우에 있어서는 근사해로서 구해진 값을 이용하였다.

각각의 C_f 값은 아래와 같다.

$$C_f = 0.058 R_e^{-\frac{1}{5}} \quad (B = 0)$$

$$= 0.064 \left(\frac{\sigma B^2 r}{\rho u_r R_e} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (B \neq 0) \dots\dots\dots (6)$$

또한, 에너지 보존식으로서

$$T_0 = T_{0in} \left(1 - \frac{Power + Heat Loss}{Thermal Input} \right) \dots\dots\dots (7)$$

을 이용하면, 작동기체의 전온도(全溫度) T_0 를 구할 수 있다. 여기서, Power와 Heat Loss는 어떤 반

경위치까지의 발전출력과 벽면에서의 열손실을 나타낸다. 벽면에서의 열손실 Q_L ^[11]은 아래의 식을 이용하여 평가하였다.

$$Q_L = S_t \rho u C_p (T_{aw} - T_w) \frac{C}{A} \dots\dots\dots (8)$$

여기서 S_t ^[11]는 스탠톤 수, T_{aw} ⁽⁹⁾는 발전기의 단열벽 온도이고 각각 다음과 같은 값을 이용하였다.

$$S_t = \frac{0.023}{R_e^{0.2} P_r^{\frac{2}{3}}} \dots\dots\dots (9)$$

$$T_{aw} = \left(1 + P_r^{\frac{1}{3}} \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right) T_g \dots\dots\dots (10)$$

또, 다음의 등 엔트로피 관계식, 기체의 상태방정식

$$\frac{T_0}{T_g} = 1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \dots\dots\dots (11)$$

$$\frac{P_0}{P_g} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \dots\dots\dots (12)$$

$$P_g = \rho R T_g \dots\dots\dots (13)$$

를 이용함으로써, Mach수 M , 작동기체 온도 T_g , 작동기체 전압(全壓) P_0 를 구할 수 있다. 이때 위와 같은 계산을 행할 경우, 발전기의 단면적은 그림 3에서 나타난 실효적인 단면적을 이용하였다. 실제 실험 데이터와 준 1차원 계산에 의한 계산결과 사이에 상당한 차이가 발생^[10]하였는데, 이는 본 실험에서 이용한 발전기의 높이가 약 10[mm]로 작고, 벽면에서의 경계층의 영향이 크기 때문이라고 생각되어진다. 따라서 경계층의 영향을 줄이기 위해, 정압분포가 실험치와 일치하도록 결정된 형상(실효적인 형상:Effective Shape)을 사용하여 계산을 행하였다.

그리고, 홀 전류밀도는 홀 전류치를 발전기의 실효 단면적으로 나눈 값으로 하였다. 파라데이 전류밀도 산출의 경우에는 발전기의 실제 높이를 이용하는데 반해, 홀 전류밀도 산출은 발전기의 실효적인 높이를 이용하고 있다. 그 이유는 r-z방향의 2차원 계산에 의하면, 파라데이 전류밀도는 경계층

내에서도 주 흐름 부와 거의 동일한 값을 유지하는데 비해, 홀 전류밀도는 경계층 내에서도 크게 저하하기 때문이다. 게다가 계산에 의하면 충격파관 끝단의 정체점 압력계측 위치에서 발전기 입구까지, swirl vane 등에 의해 전압(全壓) 손실이 약 20[%] 정도 발생하는 것으로 보여졌다^[10]. 따라서 발전기 입구까지의 전압(全壓) 손실을 20[%]로 가정하였다.

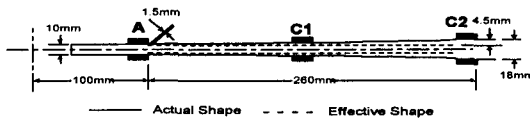


그림 3. 실제 채널의 형상과 실효적인 형상의 비교
Fig. 3 The comparison of actual and effective channel shape

윗 식에 의해 계산된 여러 반경방향분포를 그림 4에서 15에 걸쳐 표시하였다. 작동기체 전압(全壓)의 반경방향 분포에는 출구전압(全壓)의 계측값도 나타내어 이 값을 계산에서 구한 전압(全壓)의 값과 비교함으로써, 본 계산의 타당성을 검증해 보았다.

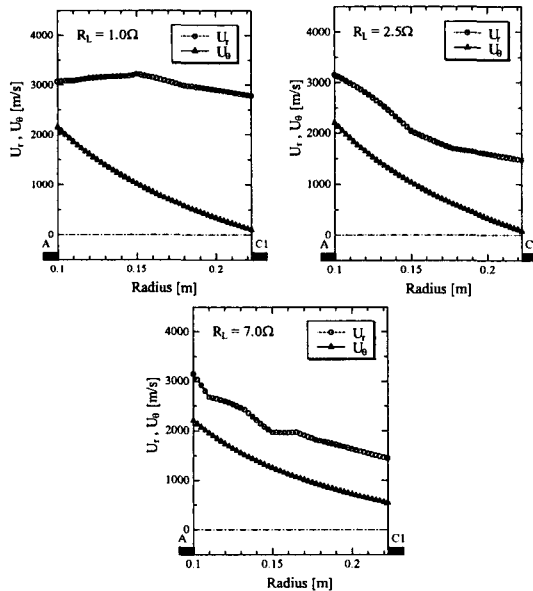


그림 4. 부하저항에 따른 유속의 반경방향분포
Fig. 4 Radial direction flow of working gas speed vs. external resistance

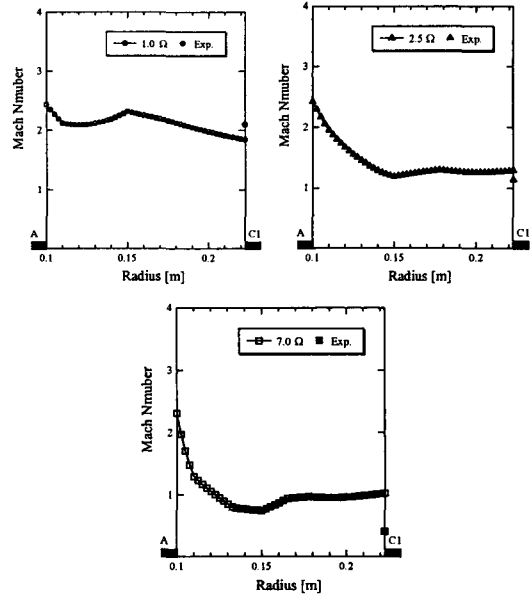


그림 5. 부하저항에 따른 Mach수의 반경방향분포
Fig. 5 Radial direction flow of Mach number vs. external resistance

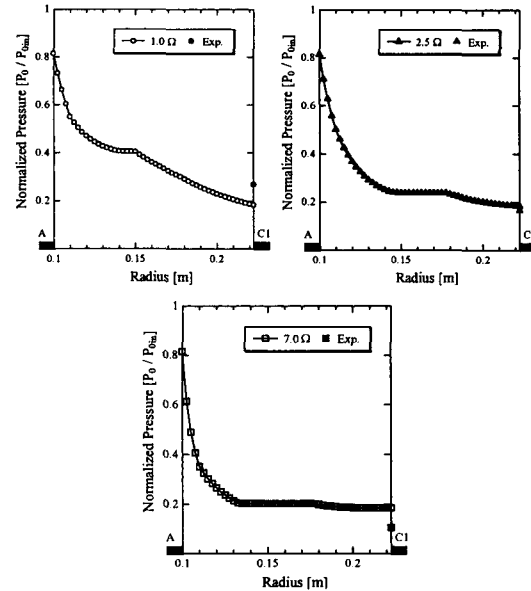


그림 6. 부하저항에 따른 작동기체 전압(全壓)의 반경방향분포
Fig. 6 Radial direction distribution of working gas's total pressure vs. external resistance

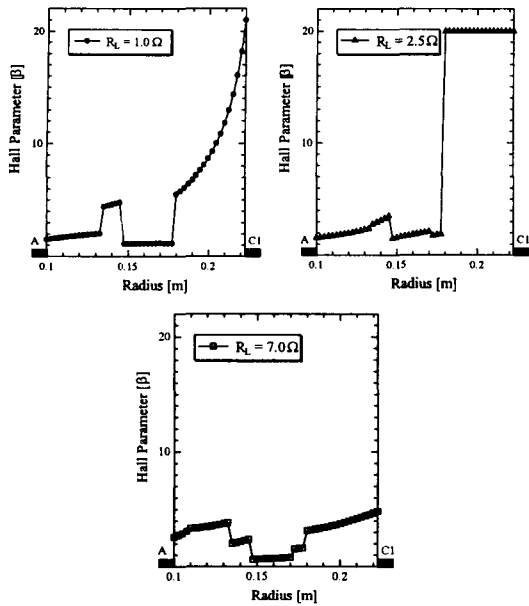


그림 7. 부하저항에 따른 홀 계수의 반경방향 분포
Fig. 7 Radial direction distribution of Hall parameter vs. external resistance

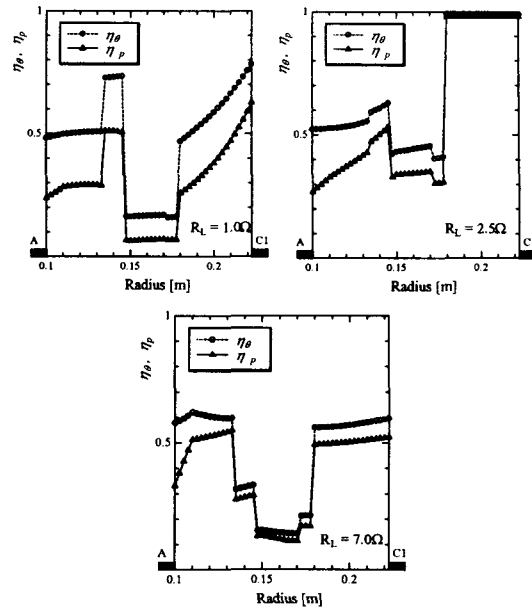


그림 9. 부하저항에 따른 전기변환효율, 폴리토프
픽효율의 반경방향분포
Fig. 9 Radial direction distribution of electric conversion and polytopic efficiency vs. external resistance

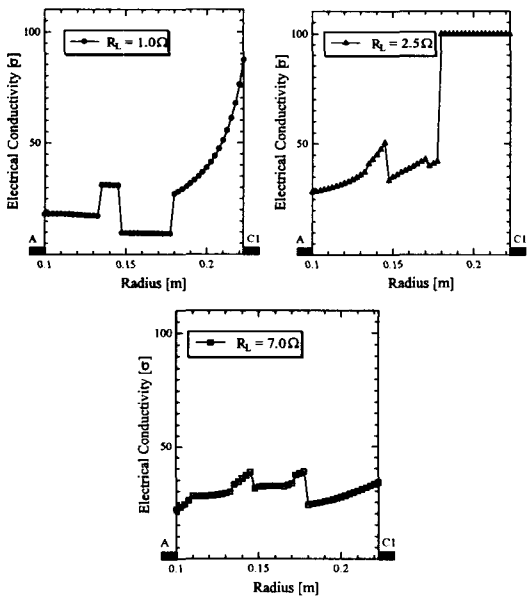


그림 8. 부하저항에 따른 전기전도도의 반경방향
분포
Fig. 8 Radial direction distribution of electric conductivity vs. external resistance

그림 4에서 9까지는 부하저항에 따른 차이(1.0 [Ω], 2.5[Ω], 7.0[Ω])를 비교하여 나타내었다. 그림 5에는 유속을, 그림 6에는 Mach수의 반경방향 분포를 나타내었다. 이들의 그림에서 부하저항을 높게 함에 따라, 반경방향의 유속이 감소되고 있는 모습을 볼 수 있다. 또한, 부하저항이 2.5 [Ω]일 때에는 전체 영역에서 초음속류가 유지되고 있지만, 7.0[Ω]일 때에는 입구부근에서 아음속까지 감소되어 있는 것을 알 수 있다.

그림 6의 전압(全壓)분포에서는 부하저항이 높게 되면 특히 입구 부근에서의 전압(全壓)이 현저하게 저하되는 모습을 볼 수 있다. 1.0[Ω]의 경우는 출구전압(全壓)의 예측치가 계산 값을 상회하고 있는데, 이 원인의 하나는 Mach수가 높게 될 때에는 식 4.5와 4.6에서 나타낸 벽면마찰에 의한 전압(全壓) 손실을 너무 크게 한다는 것으로 생각할 수 있다.

7.0[Ω]의 경우는 반대로 출구전압(全壓)의 예측치가 계산보다 적은데 이것은 충격파관 등에서 부

가하여 발생하는 전압(全壓)손실이 계산에서는 충분히 고려되지 못했기 때문이라 생각된다.

그림 7에서는 홀 계수의 반경방향분포를 나타낸다. 실험 데이터에 의해 계산된 홀 계수가 반경방향으로 불연속적으로 되어 있는데, 이것은 홀 전계강도 E_r 의 값과 파라데이 밀도분포 J_θ 의 값을 반경방향으로 불연속적으로 주었기 때문이다. 이 그림에서 어떤 부하저항의 경우도 상류영역에서의 홀 계수의 값은 2정도인 것을 알 수 있고, 하류영역에서는 홀 계수의 값이 크게 되는 경향이 있다. 그런데 2.5[Ω]일 때, 하류영역에서의 홀 계수는 다른 값에 비해 상당히 큰 것(홀 계수가 20이상인 경우에는 그림에서 20으로 표시하고 있다)을 볼 수 있는데, 이것은 계산에서 이용한 발전기의 실효 단면적을 비발전기의 정압분포를 기준으로 산출^[10]한 것이고, MHD 상호작용이 존재할 때에는 이것과는 다른 경계층이 형성되기 때문이라고 생각되어 진다. 그림 8의 전기전도도와 그림 9의 전기변화효율, 플리트로픽 효율도 홀 계수와 같은 경향을 나타내고 있다.

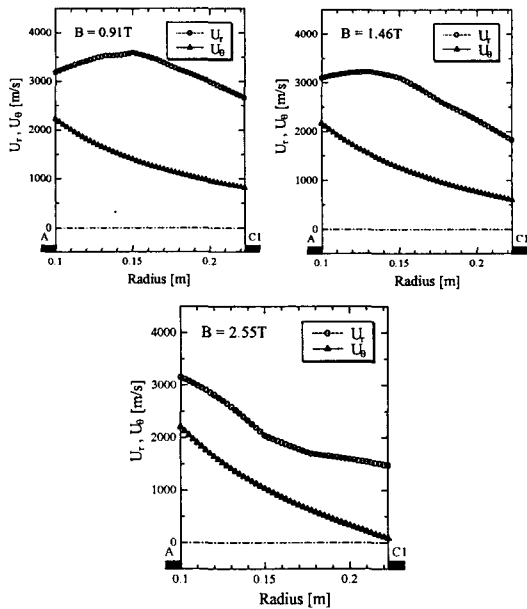


그림 10. 자속밀도에 따른 유속의 반경방향분포
Fig. 10 Radial direction flow of working gas speed vs. magnetic flux density

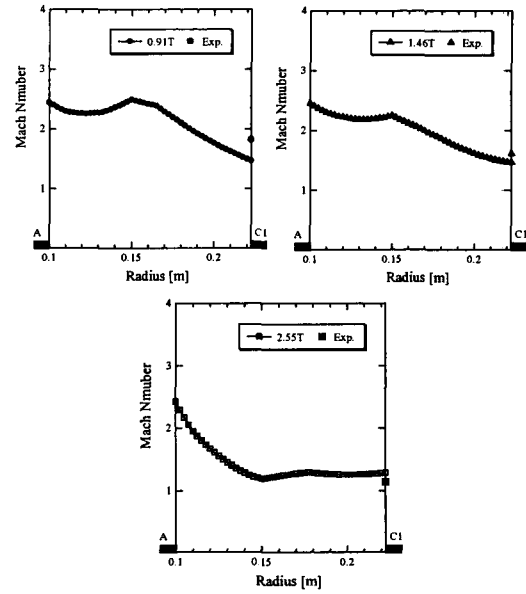


그림 11. 자속밀도에 따른 Mach수의 반경방향분포
Fig. 11 Radial direction flow of Mach number vs. magnetic flux density

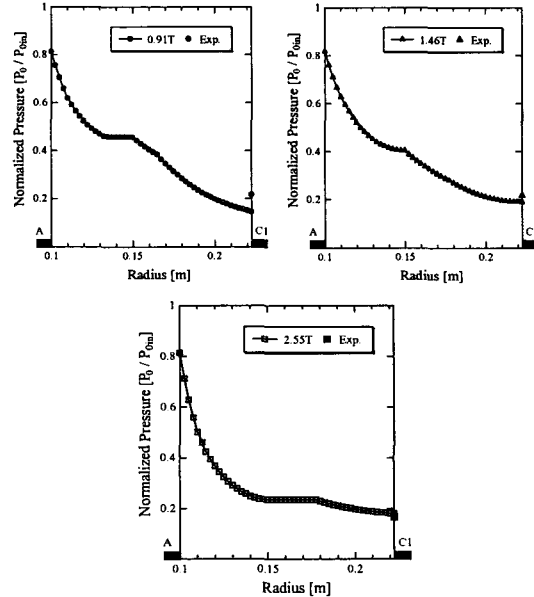


그림 12. 자속밀도에 따른 전압(全壓)의 반경방향 분포
Fig. 12 Radial direction flow of total pressure vs. magnetic flux density

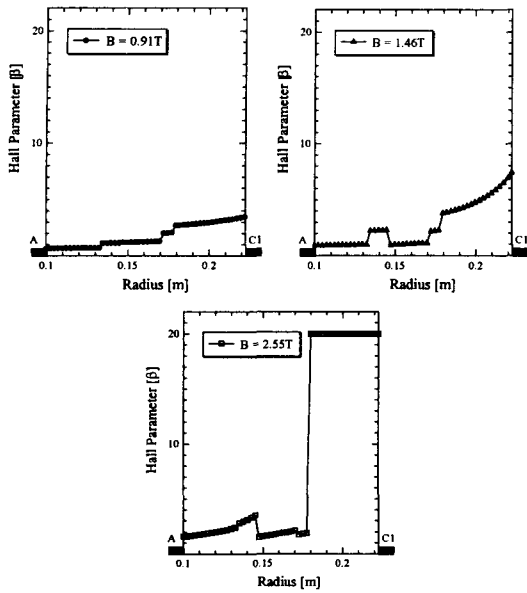


그림 13. 자속밀도에 따른 홀 계수의 반경방향분포
Fig. 13 Radial direction flow of Hall parameter vs. magnetic flux density

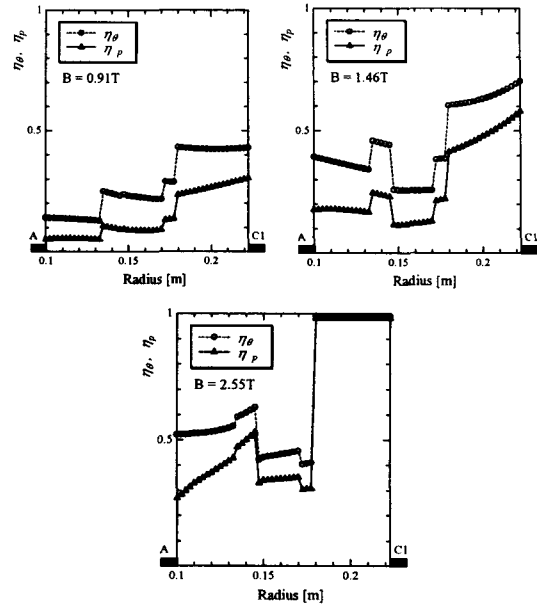


그림 15. 자속밀도에 따른 전기변환효율, 폴리트로픽효율의 반경방향분포
Fig. 15 Radial direction distribution of electric conversion and polytropic efficiency vs. magnetic flux density

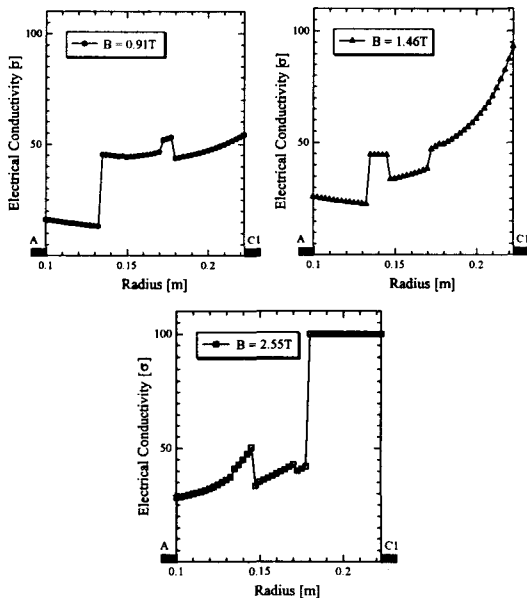


그림 14. 자속밀도에 따른 전기전도도의 반경방향분포
Fig. 14 Radial direction flow of electric conductivity vs. magnetic flux density

그림 10에서 15까지는 자속밀도의 차이(0.91[T], 1.46[T], 2.55[T])를 비교하여 나타내고 있다. 그림 10에서는 유속을, 그림 11에서는 Mach수의 반경방향분포를 나타내었다. 이들 그림으로부터 자속밀도가 낮을 때에는 특히 입구부근에서의 작동기체의 감속이 거의 일어나지 않는다는 것을 알 수 있다. 그러나, 발전기 중류영역 이후 충분한 전기전도도를 가진 플라즈마가 생성된 이후에는 완전한 감속이 일어나고 있다. 이것은 자속밀도가 낮을 때에는 상류영역에서의 파라데이 전류밀도가 작지만 하류영역에서는 크게 되기 때문이다.

그림 12에서는 작동기체의 전압(全壓)분포를 나타낸다. 자속밀도가 낮을 때에는 전체적인 작동기체의 감속을 관찰할 때, 발전기의 중류영역 이후에서 비교적 큰 전압(全壓)저하가 보여진다. 더욱이 0.91[T]의 경우에는 출구전압(全壓)의 계속치가 계산치를 상회하고 있는데 이 원인 중 하나는 Mach수가 높을 때에는 벽면마찰에 의한 전압(全壓)손실

이 너무 커지게 된다고 생각되어 진다.

그림 13에서는 홀 계수의 반경방향을 나타내고 있다. 자속밀도가 높게됨에 따라 홀 계수의 값도 크게 되는 것을 알 수 있다.

그림 14에서는 전기전도도의 분포를 나타낸다. 이 그림으로부터 자속밀도가 낮게되면 발전기 상류영역에서의 전기 전도도도 작게 되는 것을 알 수 있다. 이것은 자속밀도가 낮을 때에는 초음속 노즐 내에서 충분한 주울 가열이 얻어지지 않고, 발전기입구에서 충분한 비평형 플라즈마가 생성되지 못한다는 것을 나타내고 있다.

그림 15에서는 전기변환효율, 폴리트로픽 효율의 분포를 나타내고 있다. 이들의 값은 홀 계수의 값과 비례하여 자속밀도가 높게 되고 홀 계수가 상승하면, 이들의 값도 상승하고 있는 것을 알 수 있다. 발전기 상류영역에서는 홀 계수가 작기 때문에, 전기변환효율, 폴리트로픽 효율도 작게 되지만, 하류영역에서는 홀 계수가 크게됨에 따라 이들의 값도 크게 되는 것을 알 수 있다.

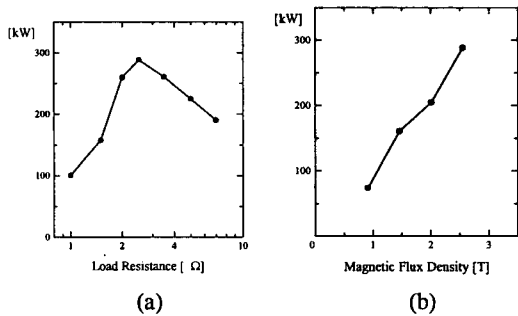


그림 16. 부하저항(a)과 자속밀도(b)에 따른 발전 출력의 비교

Fig. 16 The comparison of generation output power vs. external resistance(a) and magnetic flux density

그림 16은 부하저항과 자속밀도에 따른 발전출력을 나타내고 있다. (a) 그림에서는 외부 부하저항이 커짐에 따라 발전출력도 증가를 하지만, 어느 일정 부하저항(2.5[Ω])을 초과하게 되면 반대로 발전출력은 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 발전기에 따라 발전출력이 최대가 되는 어떤 최적의 외부부하

저항 값이 존재함을 알 수 있다. (b) 그림의 자속밀도의 경우에는 자속밀도가 증가하면 증가할수록 발전출력은 비례하여 증가함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 실험에서 사용된 연속발전이 불가능한 충격파관 구동 Disk형 MHD 발전기는 유효 발전시간이 200[μs]로 매우 순식간에 일어나므로, 발전기 내부에서 일어나는 순간적인 상황들을 명확히 파악하는 것은 매우 어렵다. 따라서 센서를 통해 얻어진 몇몇 실제 데이터를 토대로 Anode와 제1 Cathode사이의 폭 125[mm] 구간을 계산을 통해 거의 선형적으로 나타내 그래프로 가시화 하였다. 이렇게 함으로써 짧은 전극사이 구간에서 일어나는 현상들을 상류, 중류, 하류 전 구간에 걸쳐 명확하게 파악할 수 있었다. 또한 발전기의 출구 전압(全壓)과 Mach수를 계산결과와 비교함으로써 계산자체를 검증해 볼 수 있었다. 계산 결과와 실제 실험치 사이의 정도에 있어서는 정확히 일치하지는 않았지만, 대체로 계산이 정확하다는 것을 알 수 있었고 일치하지 않은 부분에 대해서는 어떤 타당한 이유를 유추해 볼 수 있었다. 그래서 본 실험에 사용한 수치 계산 프로그램을 실험에서 얻어진 계측 값과 일치하도록 계속 수정 보완해 나가게 된다면, 발전기의 성능 및 특성 파악에 유용하게 이용되리라 생각되어 진다.

기호설명

- A : 발전기의 흐르는 방향의 단면적 (m²)
- B : 자속밀도 (T)
- C : 작동기체가 벽면에 접하는 면적 (m²)
- E : 발전기내의 전기장 (V/m)
- J : 전류밀도 (A/m²)
- P_L : 벽면마찰계수에 의한 저항력
- P_g : 작동기체의 정압(靜壓) (Pa, atm)
- Q_L : 작동기체로부터 벽면으로의 열손실
- R : 기체상수
- R_e : 레이놀즈 수
- R_L : 외부 부하저항 (Ω)

- r : 반경 (m)
- T_w : 벽면 온도 (K)
- γ : 비열비
- ε : seed 율
- η_e : 국소적인 전기변환효율
- η_p : 폴리트ropic 효율
- σ : 전기전도도 (S/m)

참고서적

- [1] Rosa R.J., Magnetohydrodynamic Energy Conversion, McGraw-Hill, New York, 1968.
- [2] N. Harada, N. Kizuka, T. Okamura, H. Yamasaki and S. Shioda, "Demonstration of Enthalpy Extraction over 30[%] with Shock-Tube Driven Disk MHD Generator," in Proc. 31st SEAM, 1992.
- [3] 原田, 岡村, 木塚, 山崎, 鹽田, "入口スワールを有するディスク形MHD発電機の発電特性(30 [%]を越えるエンタルピー抽出率の實證)," 電學論B, 114卷6號, 1994.
- [4] K. Yoshikawa and S. Shioda, "System Optimization for Closed Cycle MHD Power Generation." in Proc. 11st Int. Conf. MHD, vol. 4, pp. 1218-1223, 1992.
- [5] N. Harada, T. Okamura, K. Nakamichi, A. Noma, "Characteristics of a Disk MHD Generator with Inlet Swirl," in Proc. 33rd SEAM, pp. III.2-1~III.2-9, 1995.
- [6] Hruby, V.J., "Experimental Investigation of the MHD Disk Generator with Inlet Swirl M.S./Engineer Thesis, M.I.T. press, February, 1976.
- [7] T. Okamura, et al, "measurement of Faraday Current in Disk Generator," Proc. of 16th Symp. of Efficient Use of Energy and Direct Electrical Power Generation, 1994.
- [8] K. Tsuji, H. Yamasaki, and S. Shioda, "Effects of Area Ratio and Loading Factor on Disk CCMHD Generator Performances" J. Propulsion, Vol. 4, No. 3, pp. 277-282, 1988.

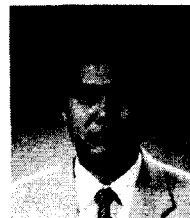
- [9] Shapiro, A. H., "The Dynamics and Thermodynamics of COMPRESSIBLE FLUID FLOW" John Wiley and Sons, New York, 1953.
- [10] 中村 元 "非平衡プラズマを作動氣體とするディスク形MHD発電機の等エントロピー効率向上に関する研究", 平成8年 博士論文.



배 철 오(Cheri-O Bae)
 1993년 2월 한국해양대학교 기관공학과 졸업(공학사)
 1997년 8월 한국해양대학교 대학원 기관공학과 졸업(공학석사)
 2000년 8월 한국해양대학교 대학원 기관공학과 박사과정 수료



安 秉 元(Byong-Won Ahn)
 1986년 2월 한국해양대학교 기관공학과 졸업(공학사)
 1991년 2월 한국해양대학교 대학원 기관공학과 졸업(공학석사)
 1996년 2월 한국해양대학교 대학원 기관공학과 졸업(공학박사)
 1991년 3월 1993년 3월 (주)종합기계 설계부
 1996년 3월~현재 목포해양대학교 기관공학과 전임 강사, 조교수
 * 주관심분야 : 모니터링, FA자동화 및 용접 주변 자동화, 전동기제어



김 윤 식(Yoon-Sik Kim)
 1977년 한국해양대학교(공학사-기관공학과)
 1979년 한국해양대학교(공학석사-기관공학)
 1986년 동경공업대학(공학석사-전기전자)
 1989년 동경공업대학(공학박사-에너지과학)
 * 주관심분야 : MHD 발전 및 MHD 추진, 전력전

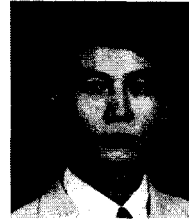
자 및 공장 자동화, 에너지 변환 공학 및
직접발전



이 성 근(Sung-Geun Lee)
1983년 한국해양대학교 기관학
과 졸업
1990년 동대학원 기관학과 졸업
(석사)
1998년 동대학원 졸업(박사).

현재 한국해양대학교 전기시스템광학과 조교수.

* 주관심분야 : 인버터설계 및 전동기제어. 마이크
로프로세서응용 및 전기기기제어



박 영 산(Young-San Park)

1991년 2월 한국해양대학교 기
관공학과 졸업(공학사)

1997년 2월 한국해양대학교 대
학원 기관공학과 졸
업(공학석사)

2000년 2월 한국해양대학교 대학원 기관공학과(공
학박사)

2000년 2월 ~ 현재 목포해양대학교 기관공학부 전
임강사

* 주관심분야 : DSP. 전력전자. 전기제어.