

KSTAR(Korea Superconducting Tokamak Advanced Research)에서의 자기적 진단을 위한 자체 보상형 전자적분기의 성능 검증

가은미^{1*}, 이상곤¹, 박준교¹, 손대락²

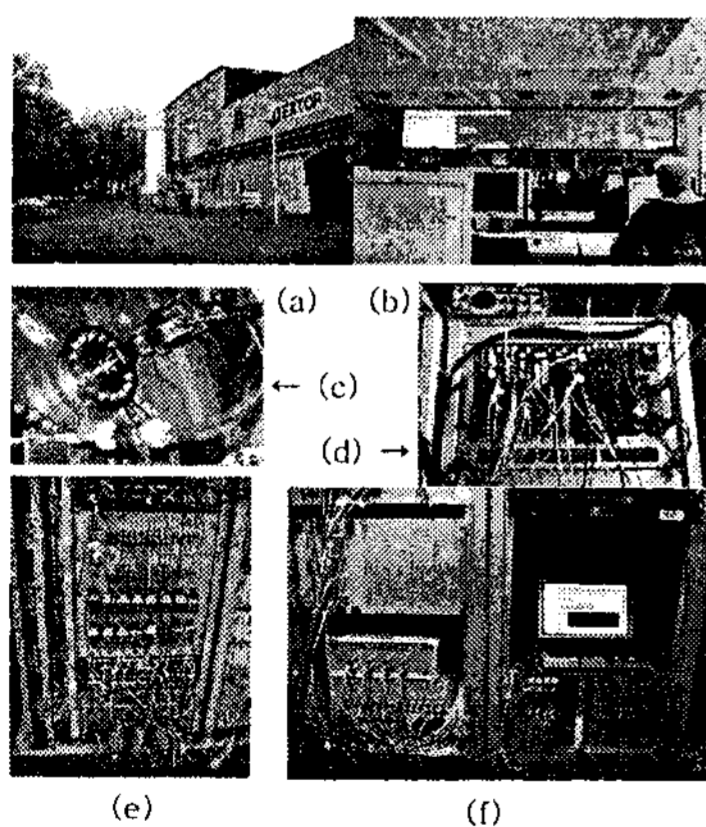
¹대전광역시 유성구 어은동 52번지, 국가핵융합연구소 진단계통연구팀

²대전광역시 대덕구 오정동 133번지, 한남대학교 물리학과

1. 서론

자기적 진단방법은 토카막이나 자기 가둠 장치에서 플라즈마의 거동연구나 운영 및 제어를 하기 위한 필수적인 방법이다[1-3]. 이 방법에는 고전적인 인덕티브 코일을 이용한 플라즈마 전류 측정용 로콥스키 코일, 플라즈마 위치 제어용 탐지코일, 플라즈마에 저장된 에너지 측정용 반자성 루프등이 사용되어왔다[4-5]. 이 코일들에 유도되는 기전력을 정확하게 측정하기 위해서는 기전력을 적분하는 과정이 필수적이다. Faraday의 전자기유도법칙을 이용하여 자기진단용 센서에 의해 유도되는 기전력을 적분하여 자속(magnetic flux)을 측정하기 위해서 적분기가 개발되었으며, 실제 토카막에서는 자기진단용 코일과 적분기가 위치한 진단실의 거리가 약 100 m 의 거리에 위치하기 때문에 선저항에 의해 발생하는 전압차이와 ground차를 극복하기 위해 프리앰프가 개발되었다[6-7]. 아직 KSTAR는 플라즈마 구동 전 단계이므로 KSTAR 운전시 100초 동안 그리고 차후에 1000초 이상의 적분기의 적용이 가능한지 검증이 필요하였다. 따라서 현재 플라즈마를 가동 중인 독일의 TEXTOR(Tokamak EXperiment for Technology Oriented Research)에 개발된 적분기와 프리앰프를 설치하여 그 성능을 시험해보았으며, KSTAR 실험환경에 적용할 수 있음이 검증되었다.

2. 실험방법



실제 가동 중인 토카막에서의 성능 검사를 하기위하여 방문한 독일의 Juelich에 있는 TEXTOR의 전경과 측정 시스템 셋팅 사진은 Fig. 1과 같다. TEXTOR 토카막 장치내의 설치되어 있는 자기적 진단 센서 4개의 신호선을 KSTAR 자기적 진단기용 적분기 입력 채널에 연결하여 적분기를 통해 특성을 확인하였다. 4개의 센서는 로콥스키 코일 (Rogowski coil) 1개, 플럭스 루프(flux loop) 1개, 자장탐침 (magnetic field probe) 2개 이다. KSTAR 토카막용으로 개발된 적분기 RC 시정수는 1 ms에서 47 ms로, 프리앰프의 입력단 신호선 연결 방식은 differential type 에서 common mode로 교체하였다.

Fig. 1. Performance test of integrator and pre-amplifier at TEXTOR in Juelich Germany; (a) the foreground of TEXTOR, (b) control room, (c) vacuum feedthrough, (d) digitizer, (e) signal cable, (f) integrator and pre-amplifier system.

적분기 시험을 위한 TEXTOR 토카막에서 플라즈마 발생 시 주요 변수는 shot duration 이 6 초, 플라즈마 전류는 300 kA, 토로이달 자장 값 및 flat-top 유지시간은 1.9 T에서 9 초 그리고 NBI power 는 1.4 MW 로 주어졌다. 이상의 측정 과정을 통하여 KSTAR 적분기의 성능 실험을 하였다.

3. 실험결과

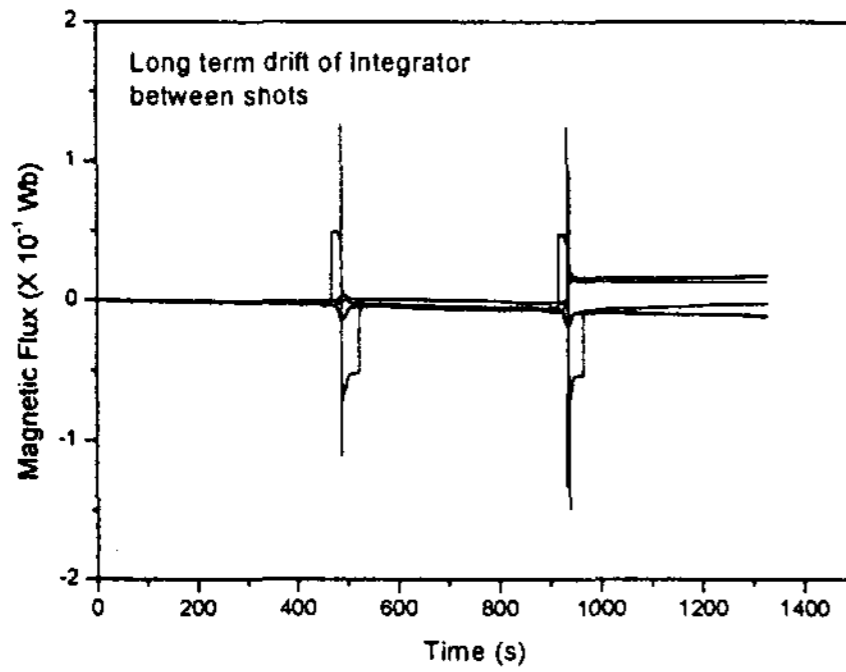


Fig. 2. Results of the performance test of integrator and pre-amplifier in TEXTOR; (under 4.7×10^{-6} Wb/s).

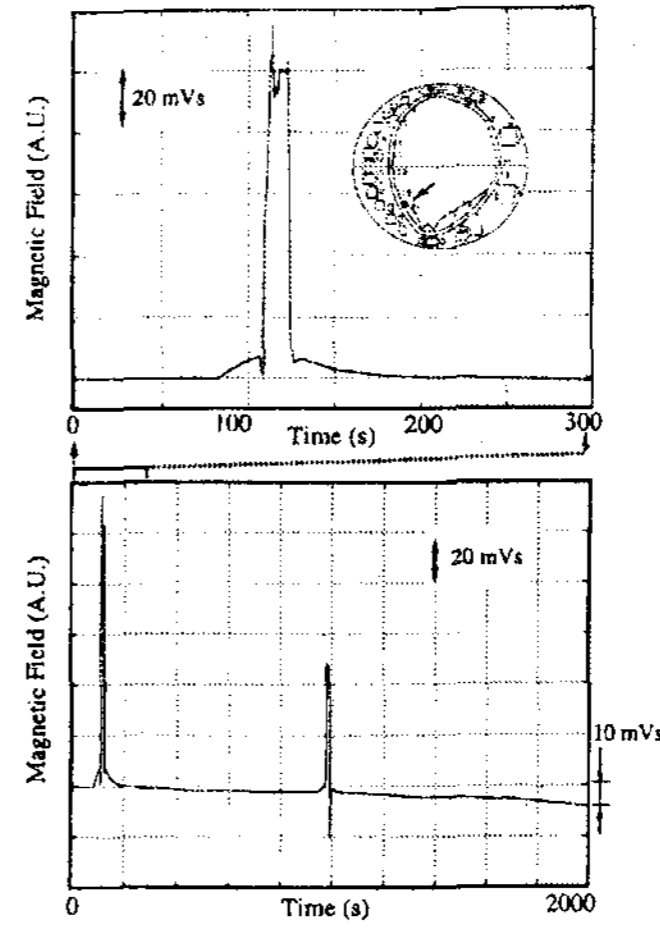
적분기를 리셋 하지 않고 1300여초 동안 구동하여 Fig. 2에서 보는 바와 같이 두 번의 깨끗한 플라즈마 샷을 관찰할 수 있었다. 이 때의 적분기 특성은 4.7×10^{-6} Wb/s 이었다.

4. 고찰

* RC time: 1 ms, **RC time: 47 ms

| | Full scale | Drift at 100 s. |
|--|-------------------------|---------------------------|
| Integrator only* | 10^{-2} Wb | 5.0×10^{-8} Wb/s |
| Integrator and Pre-amplifier* | 10^{-2} Wb | 1.0×10^{-7} Wb/s |
| In TEXTOR Integrator and Pre-amplifier** | 4.7×10^{-1} Wb | 4.7×10^{-6} Wb/s |

(a)



(b)

Fig. 3. (a) Comparison of drift data between in Laboratory and TEXTOR, (b) drift of electronic integrator which was developed JAEA. (5×10^{-6} Wb/s).

Fig. 3-(a)는 실험실 환경과 실제 플라즈마 구동환경에서의 특성을 비교한 표이며, 이 표를 통해서 실제 환경에서는 적분기 특성이 저하됨을 알 수 있다. Fig. 3-(b)는 JAEA의 적분기 드리프트를 측정 한 데이터이며 Fig. 2와 비교해보면 본 연구를 통해 제작된 적분기의 특성이 조금 더 우수하다고 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서 개발한 적분기 자체의 드리프트(5×10^{-8} Wb/s)의 정도로 적을 때 Fig. 2와 같은 데이터를 얻을 수 있음을 확인하였다. TEXTOR의 실제 플라즈마 운전 환경에서 장시간(약 1300 초)동안 선명한 데이터를 얻을 수 있을 만큼 잘 동작했음을 검증할 수 있었으며, KSTAR의 자기 진단의 물리적 연구에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

6. 참고문헌

- [1] J. B. Bak and S. G. Lee, Rev. Sci. Instrum. **72**, 435 (2001).
- [2] S. G. Lee and J. B. Bak, Rev. Sci. Instrum. **77**, 10E306 (2006).
- [3] J. B. Bak and S. G. Lee, Korean Phys. Society **49**, S223 (2006).
- [4] S. G. Lee and J. B. Bak, J. Accel. Plasma Res. **5**, 1 (2000).
- [5] E. J. Strait Rev. Sci. Instrum. **77**, 0023502 (2006).
- [6] E. M. Ga, D. Son, J. B. Bak and S.G. Lee, Journal of Magnetism, **8**(4), 160 (2003).
- [7] J. B. Bak, S. G. Lee, D. Son and E. M. Ga, Rev. Sci. Instrum. **78**, 043504 (2007).