

자동 안압 측정장치의 개발

김희식*, 최기상*, 임요안**, 기창원***, 김원기****, 홍태민****

* 서울시립대학교 제어계측공학과

** 서울시립대학교 대학원

*** 삼성의료원 안과

**** 삼성의료원 생명과학연구소

Development of an Automatic Ophthalmological Outflow Facility Measuring Device.

H. S. Kim*, Gi S. Choi*, Y. A. Lim**, C. W. Ki***, W. K. Kim****, T. M. Hong****

* Dept. of Control and Instrumentation Engineering, Seoul City University

** Graduate School, Seoul City University

*** Dept. of Ophthalmology, Samsung Medical Center

**** Samsung Biomedical Research Institute

Abstract

The Outflow facility of eye ball provides crucial informations in the diagnose of ophthalmological glaucoma. In this study an ophthalmic outflow facility measuring device is developed and experimentally tested. This system employs pressure sensors and linear positioning device to regulate solution reservoir height, the pressure of eye ball. The experimental result show that the system works well even in harsh environment so that it can be implemented in ophthalmic practice as well as in biomedical research.

서론

안과에서는 현대 의공학적인 여러 종류의 정밀 측정장치가 여러 가지 개발되어 적용되고 있다. 본 연구에서는 안과에서 안구의 진진에 사용하기 위한 안압 자동측정시스템을 개발하였다. 안압은 안구(eye ball) 내의 유체압력을 말하며 안압은 녹내장(glaucoma) 및 백내장 등 안구 질환과 밀접한 함수관계를 가지므로 안질환 진찰에 핵심적인 측정치이다.

일반적으로 안압측정의 기본방법은 액체가 담긴 병 또는 용기를 높이 메달아 액주압력을 이용하여 안구속으로 액체를 흘려 보내면서 측정한다. 안구속으로 흘러 들어가는 액체의 미세한 유량을 계속적으로 측정하여 정상상태(steady state)의 유량과 가해지는 압력을 계측하여 방수유출량(outflow facility)을 계산한다.

지금까지 광범위하게 사용된 안압 측정장비에서는 액체용기의 무게를 측정하여 유량을 계측하였다. 이 방법은 유체의 미소한 유입량 계측하기에는 높은 감도 때문에 협사리 느끼기 힘든 건물의 미세한 진동이나 주위에서 움직이는 사람에 의해 발생

하는 경미한 외부 진동에 대해서도 민감하게 반응하는 문제점이 있었다.

본 연구에서는 미세한 직경의 장관을 사용하여 유량을 계측하였으며, 그 유체저항을 사전에 검교정하여 압력차를 계측하여 유량을 계산하였다. 안압 측정시스템은 PC586 Pentium 컴퓨터로 제어 및 계측이 자동으로 수행된다.

안압 계측시스템 구성

안압 자동계측장치는 계측프로그램인 소프트웨어와 기계장치인 하드웨어로 구성된다.

안압계측 시스템	계측프로그램 (Software)		압력값 A/D 입력
	기계 장치 (Hardware)	전기부 기계부	Sol. Bucket
			위치제어
			그래픽 표시모듈
			과거 계측 데이터
			분석
			PC586 컴퓨터
			데이터수집 보드
			모터 및 구동회로
	기계 장치 (Hardware)	기계부	위치제어 기구
			용액 배관
			정밀 압력센서
			주사기

표 1 안압 계측 시스템의 세부 구성

Table 1. Subsystems of the Outflow Facility Measuring System

소프트웨어의 구성 모듈은 압력값 A/D 입력, Sol. Bucket, 위치제어, 그래픽 표시모듈, 과거 계측 데이터 분석 등 5가지 모듈이다. 하드웨어 구성요소는 전기부와 기계부로 나누어 지며, 전기부는 제어계측용 컴퓨터와 데이터 수집장치, 모터제어회로 등으로 구성된다.

안압변화 (pressure change) 와 유입량(solution flow rate)을 자동으로 지정한 시간 동안 자동적으

로 계측하고 이 데이터를 A/D converter를 통하여 PC에 자동으로 입력하여 outflow facility 를 자동으로 그래픽으로 표시하였다. 또한 계산한 측정치 값을 데이터 파일에 기록하여 차후 안과연구에 활용하도록 검색모듈을 개발하였다.

유량 및 안압계측의 원리

본 연구에서는 C. Ross Eithier 에 의해 제안된 방수유출을 측정 시스템을 기초하여 정밀도가 높으면서도 외부진동에 비교적 민감하지 않은 방수유출을 측정시스템을 개발하였다. reservoir bucket 에서 안구로 흘러들어가는 용액의 유량계측에 미세관의 유체저항을 이용하므로 외부의 진동에 의한 영향없이 방수유출을 정확하게 측정하였다.

생체 안구의 안압은 계속적으로 변화하며 이를 측정하는 방법은 일반적으로 방수유출 (outflow facility)을 측정한다. 안압측정 시험장치는 안구에 주사바늘 (infusion needle) 을 꽂아서 유입되는 액체(solution)의 일정한 외부압력을 유지되도록 자동제어하면서 계속적인 방수유출량과 압력변화를 연속적으로 계측한다. 안과에서 규정한 outflow facility 는 다음과 같다.

$$f = \text{유량}(Q)/\text{안압}(P) [\mu\text{l}/\text{min}/\text{mmHg}]$$

시스템에서 solution 의 주입율 (infusion rate) Q 는 ΔF 가 reservoir bucket 에서 infusion needle 까지 전체 튜브를 통한 압력의 강하, R 이 튜브의 유저항 (flow resistance) 일 때 $Q = \frac{\Delta P}{R}$

이 된다. 이 경우 방수유출율 (C) 은 $C = \frac{Q}{IOP}$

로 정의되며, 안구압 (IOP) 은 $IOP = P_{res} - \Delta F$ 이다. 즉 유량계측은 reservoir bucket 의 높이를 실시간에서 스텝모터를 이용하여 조절하여 압력차를 구하고 이를 근거로 flow rate 를 계산하였다. 실험과정에서는 안구압이 일정하게 유지되도록 reservoir bucket 의 높이를 계속적으로 자동제어한다.

안압 계측시스템의 개발에 있어서 고려한 사양은 다음과 같다.

- 실험을 시작과 종료에 많은 양의 액을 주입 또는 배출하여야 하므로 짧은 시간에 많은 양의 액을 흘릴 수 있는 바이패스 라인을 설치한다.
- 온도의 변화에 따른 solution 과 tube 내벽 간의 마찰의 변화가 적은 볼 스크류 기구를 사용한다.
- 배관 내에 공기방울이 발생하면 압축탄성에 의한 계측오차를 줄이기 위하여 관내 공기방울을 걸러낼 수 있는 필터를 설치한다.
- reservoir bucket의 높이가 상시로 자동조절이 되도록 스텝모터에 제어장치를 제작한다.
- 0.005μl/min 정도의 미세한 유량을 측정할 수

있는 직경과 길이를 가진 미세관을 구한다.

- 안압 자동계측장치는 안구의 안압변화 (pressure change) 와 유입량(solution flow rate) 를 자동으로 지정한 시간 동안 자동적으로 계측한다.

안구에서 안압이 변화함에 따른 방수유출율 (outflow facility) 은 안구의 전방에 infusion needle 을 삽입하여 높은 곳에 설치된 reservoir bucket 의 압력을 일정하게 유지하고 단위시간당 흘러 들어가는 solution 의 양을 측정하여 flow rate 를 계산하고 같은 방법으로 reservoir bucket 을 낮은 곳에 위치시켜 flow rate 를 측정함으로써 방수유출율을 계산할 수 있는 자동화된 장비를 개발하였다.

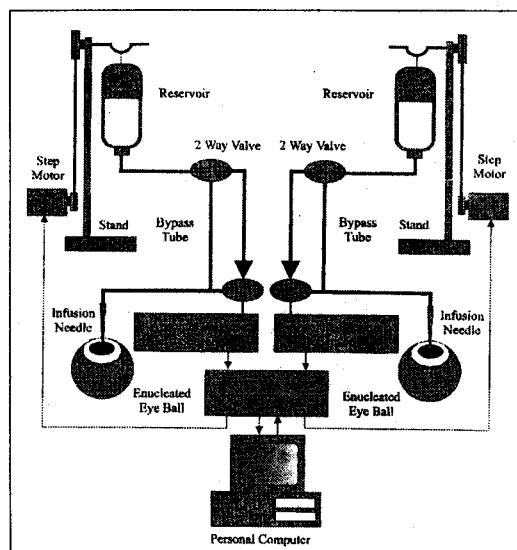


그림 1 안압계측시스템의 기계부 구성

Fig. 1. Blockdiagram of the System

장치의 기계적 구성은 오른쪽눈과 왼쪽눈의 안압을 동시에 자동으로 검사할 수 있도록 두 개의 계측장치가 작동되게 하였다. 액체의 유량계측은 내경 0.23 mm 가느다란 steel pipe 길이 1m 를 이용한다. 이 관의 유체저항을 사전에 정밀하게 검교정하여 압력차에 대한 유량함수 관계 데이터를 결정한다. 안구앞의 주사바늘에 유입되는 액체압력을 일정하게 제어하도록 step motor를 이용하여 reservoir bucket의 위치를 제어하게 하였다. 위치제어량은 액체의 액주기동높이 변화로서 세관내의 유량을 자동으로 계산할 수 있다.

시스템 특성분석 기초실험결과

생체눈의 방수 유출량 (outflow facility)은 예를 들어 고양이 눈인 경우에 약 8 mg/min 정도로 매우 적은 유량이며, 이러한 미세유량을 계측하기 위해서는 미세직경의 강관의 유체저항계수를 이용하였다.

아래 그림은 기구적으로 작용되는 액주높이의

자동 안압 측정장치의 개발

압력변화에 의한 유량계측범위를 정하고 적절한 길이와 직경의 강관을 구하기 위하여 몇 종류의 미세관에 대하여 기본 검교정 실험한 결과이다.

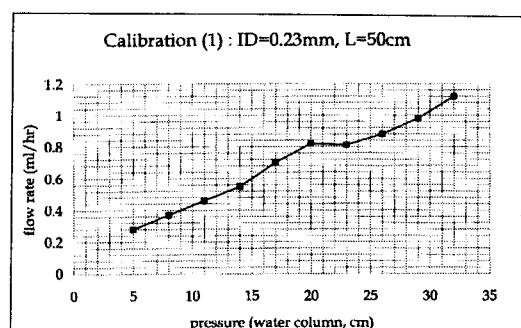


그림 2. 미세강관의 유체저항과 유량 검교정 결과 ($l=50\text{cm}$, dia.=0.23mm)

Fig. 2. Calibration of flow rate resistance of a steel pipe ($l=50\text{cm}$, dia.=0.23mm)

동일한 직경조건인 경우에서 길이가 긴 강관은 유체저항이 더 크므로 더 미소한 유량계측에 활용된다. 그러나 길이가 더 긴 강관은 미소한 유량계측에는 유리하지만, 압력변화의 민감성이 오히려 낮아져 압력계측에는 동적 특성 즉 시정수가 늦어지며 오차가 증가한다.

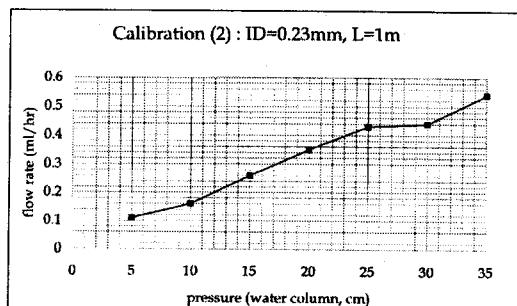


그림 3. 미세강관의 유체저항과 유량 검교정 결과 ($l=100\text{cm}$, dia.=0.23mm)

Fig. 3. Calibration of flow rate resistance of a steel pipe ($l=100\text{cm}$, dia.=0.23mm)

처음 실험에서는 생체실험 대신에 강관을 이용하여 안구를 대신하는 모델으로 실험하였다. 그림4.에서 강관 안구모델 (steel eye) 은 직경 0.23mm, 길이 60cm 이며 주입유량의 압력 설정치는 8mmHg 으로 스텝함수값으로 일정하게 유지하면서 방수 유출량을 계측한 결과이다.

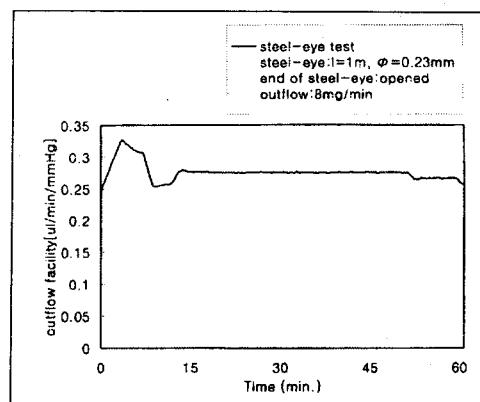


그림 4. 미세강관을 안구모델으로 사용하여 시스템 특성분석 방출유량 실험결과

Fig. 4. A Test Result of the Systems's Dynamic Response with Steel Eye

위의 실험에서는 이 시스템이 15분간의 과도기를 갖는 동특성이 있음을 보여주고 있다. 다양한 길이의 미세관을 대상으로 실험을 한 결과, 시스템의 동특성에서 미세관의 길이를 짧게 하면 과도기가 감소되는 잇점이 있는 반면, 대신 유량계측의 정밀도가 감소됨을 실험적으로 보여졌다.

아래 그림5. 에서는 오른쪽눈과 왼쪽눈을 동시에 강관 안구모델을 대상으로 2단계 변화를 갖는 스텝함수값으로 실험한 결과이다. 이 실험에 사용한 미세관인 경우에는 약 15분동안 과도기가 지나면 정확한 안정기의 방수 유출량을 계측할 수 있었다.

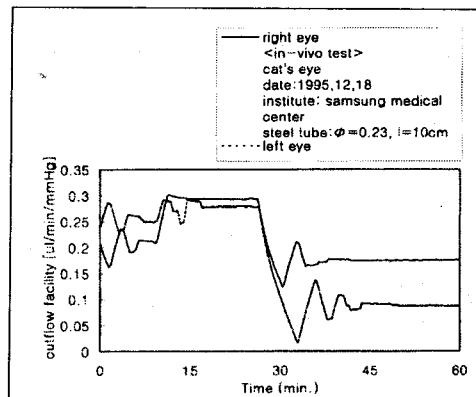


그림 5. 두 개의 강관 안구모델의 방수유출량 측정 실험한 결과

Fig. 5. An Test of Outflow Facility Measurement with Steel Eye Models

실험결과

그림 6.에서는 두 개의 강관을 양쪽 안구 모델으로 실험하여 시스템의 특성을 분석한 표시화면이다. 초기의 과도기가 지나면 정상상태에서는 방수 유출량 측정치가 매우 안정적이고 신뢰성이 있음을 알수 있다.

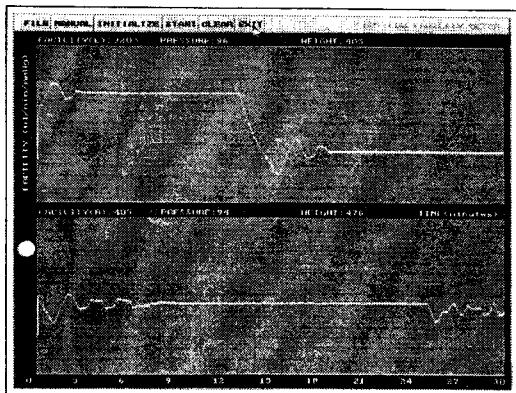


그림 6. 강관 양쪽 안구모델을 대상으로 안압 계측 시스템 실험한 표시화면

Fig. 6. A CRT Display by Experiment of the Outflow Facility Measurement System with two Steel Eye Models

그림 7.에서는 연구개발한 안압계측 시스템을 이용하여 생체 고양이의 안구 방수유출량을 계측하는 실험을 보여주고 있다. 본 시스템이 설치된 기관에서는 고양이외에 생체쥐에 대하여 안압측정 실험을 수행하고 있으며 쥐의 안구인 경우에는 방수 유출량이 적기 때문에 더 정밀한 계측결과를 얻을 수 있었다.

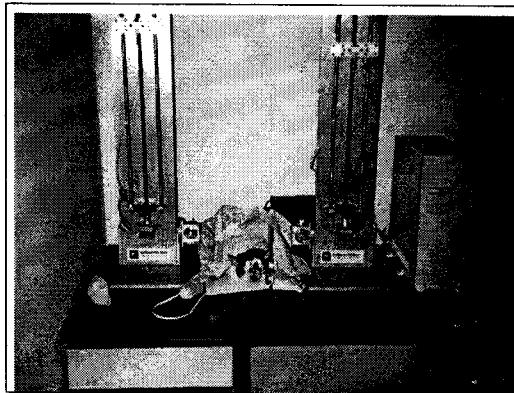


그림 7. 안압계측장치를 이용한 고양이를 대상으로 in-vivo 안압계측 실험사진

Fig. 7. In-vivo Experiment of the Outflow Facility Measurement System with a Cat.

그림 8.에서는 생체 고양이 양쪽 인구의 안압측정을 위하여 시스템의 주사바늘을 안구에 꽂아서 그 방수유출량 (Outflow Facility) 측정한 결과를 보여 주고 있다. 생체실험결과에서는 계속적으로 안압이 변화하고 있으며 여러 가지의 안압변화 주기가 포함되어 있음을 알수있다.

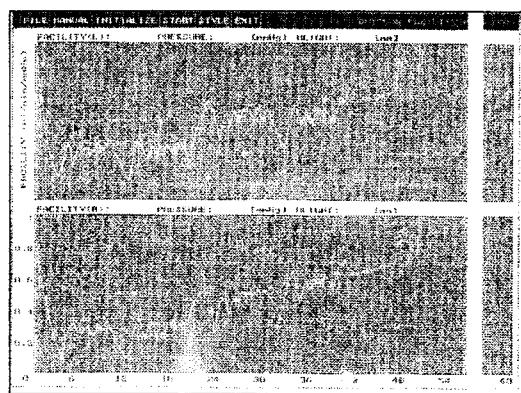


그림 8. 생체 고양이 양쪽 눈을 대상으로 안압 계측실험한 결과 시스템의 표시화면.

Fig. 8. CRT Display by an in-vivo Outflow Facility Measurement with Cat's both Eyes

결론

녹내장 (glaucoma) 치료에 유효한 약물의 개발에는 방수유출율을 측정하기 위한 장비를 개발하였다. 본 연구에서 개발한 안압측정기를 이용하여 여러 가지 동물실험에 활용되고 있으며 계측장치의 정밀도는 여러가지 오차를 합하여 $\pm 5\%$ 신뢰성을 보였다.

참고문헌

1. C. Ross Ethier, "Current Eye Research", pp.767