

## 적외선을 이용한 생체신호의 원격측정에 관한 연구

허 수 진

=Abstract=

### A Study on the Biotelemetry using Infra-red Light

Soo-Jin Huh

Recently, interest in infra-red(IR) telemetry has increased because of the entirely different propagation and reflection properties of IR light as compared to radiowaves. IR hardly penetrates most materials and is reflected from obstacles.

An biotelemetry system using these characteristics of indirect transmitted IR lights was developed, in which 3 ECG's are multiplexed and modulated in PDM/PIM pulse sequence. This proto-type system enables us to realize the non-restraint measurement of biological signals. Compared with conventional radio telemetry, this technique has some merits such as no electromagnetic interference, no frequency allocation problem, no government control over transmission power.

#### 1. 서 론

생체신호의 측정에서 중요한 문제는 가능한 정  
확하게 원하는 신호변수에 접근하여 그 측정치의  
오차가 가장 작도록 측정하는 것이다. 이러한 수단  
으로서 생체와 측정장비사이가 무선으로 구성되는  
생체신호의 원격측정 시스템 즉 생체 텔리메트리  
(biotelemetry)가 매우 유용하다.

생체 텔리메트리의 종류에는 전파가 급속히 감  
쇠되는 해수, 오수등에서 사용되는 초음파 텔리메  
트리(ultrasonic telemetry), 성능시험같이 실시간으

로 측정결과가 요구되지 않는 분야에서 사용되는  
기억 텔리메트리(storage telemetry), 심장에 관한  
정보를 공중전화 회선망을 통하여 전송하는 유선 텔  
리메트리(wired telemetry), 원격측정용 송신장치를  
피측정자 체내에 이식하는 임플란트(implant) 및 피  
측정자가 삼키는 라디오 필(radio pill)등이 있다.  
전파 텔리메트리(radio telemetry)는 심전도전용의  
의료용 환자감시장치로서 많이 사용되고 있지만,  
재활의학, 인간공학, 스포츠의학 및 동물실험 분야  
에서도 많이 이용되고 있다. 일반적으로 생체 텔리  
메트리라고 하면 전파 텔리메트리를 의미할 정도  
로 거의 대부분이 전파 텔리메트리이다.[1]

그러나 전파 텔리메트리 송신기의 출력에 대한  
규제가 최근 더욱 강화되고 있어 종전처럼 병원내  
어느 곳에서나 전파 텔리메트리 장치를 자유롭게  
사용하는 것이 어렵게 되고 있다. 따라서 전파이의  
외 빛, 초음파 등을 반송파로하는 생체신호의 원격

(접수 : 1993년 4월 8일)

울산대학교 의과대학 의공학과학교실

Department of Biomedical Engineering, College of Medicine,  
University of Ulsan

본 연구는 아산 생명과학 연구소의 지원에 의해 이  
행되었습니다.

측정 기술개발에 대한 필요성이 점점증하고 있다.[2]

기존의 전파를 사용하는 방식과 비교하여 빛에 의한 원격측정 방법이 갖는 잇점에는, 빛과 전파계는 비간섭성이므로 주위의 전자환경으로부터 영향을 받거나 주지 않고, 전파관리법에 의해 송신출력 등에 관한 규제가 없고, 비교적 쉽게 넓은 대역의 신호전송을 할 수 있다는 점 등이 있다.[3]

최근에 적외선을 이용한 원격측정에 대한 관심이 날로 높아지고 있다. 적외선은 대부분의 물체를 거의 투과할 수 없고 반사되며, 적외선 복사에너지는 실내에 남게 된다. 따라서 하나의 적외선 주파수로 많은 다른 생체 텔리메트리 시스템을 동작시킬 수 있어 전파 텔리메트리에서와 같은 주파수 할당 등의 문제가 없다.[4] 이러한 빛을 이용한 통신방식에는 발광소자에서 복사(radiation)된 빛이 수광소자로 직접 입사되는 방식 즉 직접 전파광을 이용하는 방식과 일단 벽, 천정 등에 입사하여 반사, 산란을 반복한 후에 수광소자로 입사되는 간접 전파광을 이용하는 방식으로 나누어진다.[5]

생체신호의 다중 적외선 텔리메트리 시스템의 개발은 1981, 1982, 1983년에 웰러(Weller), 브레츠(Bretz), 키미치(Kimmich)에 의해 각각 발표되었으나 실용화되지 못했다.[6] 최근에는 돌고래의 머리부분에 이러한 장치를 부착하여 돌고래 상호간의 소리교환을 모니터링하는데 이용하고 있고 [7], 공간을 전송로로 하여 1000미터 떨어진 곳으로 화상정보와 생체정보를 전송하는 연구도 있다. [8] 직접 전파광과 간접 전파광을 이용한 적외선 텔리메트리의 비교 연구[9], 간접 전파광에 의한 경피 생체 텔리메트리 시스템에 관한 연구[5] 등이 발표되고 있다. 의료용으로 개발된 다중채널 적외선 텔리메트리 시스템이 92년부터 스위스에서 세계 최초로 상용화되고 있다.

본 논문에서는 근 적외선의 간접 전파광을 반송파로 하여 비교적 좁은 실내에서 생체신호의 원격측정을 구현하기 위한 연구를 하였다. 적외선을 반송파로 이용하는 원격측정 장치를 시험 제작한 후, 3 채널 심전도 신호를 원격측정하여 이러한 방식의 실용가능성을 보인다.

## 2. 근 적외선 특성

적외선이라 함은 가시광선보다 파장이 길며

750nm에서 1mm정도의 범위의 파장을 갖는 전자기파를 말한다. 이 적외선중에 파장이 750nm-3 $\mu$ m의 적외선을 근 적외선이라고 한다. 적외선은 파장이 길기 때문에 자외선이나 가시광선에 비하여 미립자에 의한 산란효과가 적어서 공기중을 비교적 잘 투과한다. 광 원격측정에 사용되는 빛은 파장이 750nm-1500nm인 근 적외선이 적합하다. 340nm 이하의 자외선은 인체에 유해하며 200nm 이하의 자외선은 공기에 흡수되기 쉬우며, 이를 감지하는 반도체의 감도도 나쁘다. 또한 가시광선은 눈에 보이기 때문에 피측정자에게 부담을 주게 된다.[9]

근 적외선의 간접 전파광을 반송파로 사용하는 경우, 다중반사되는 신호의 중첩에 의해 수광펄스간에 간섭이 일어날 것으로 생각이 되나 반송파의 펄스 주파수가 보통 수 KHz 정도일 때는 펄스간의 간섭은 없다고 생각해도 된다. 또한 여러 종류의 벽면에 대한 간접 전파광의 반사, 산란특성을 측정된 결과, 벽은 극히 작은 지향특성을 갖지만 반사체라고 하기 보다는 거의 완전확산체라고 생각할 수 있는 특성을 갖는다. 이는 근 적외선의 부분적인 발광이 벽 등에 의해 반사, 산란을 반복하여 실내에 균일하게 확산되는 것을 의미한다. 더우기 벽면의 높은 반사율로, 광 출력의 크기에 따라 유용한 반사횟수는 다르지만 여러번 반사된 간접 전파광이라도 원격측정에 이용할 수 있음을 알 수 있다.[9]

## 3. 광 원격 측정 시스템

간접 전파광을 이용한 생체신호의 원격측정의 가능성을 실험하기 위해 아래 사항에 유의하여 원격측정 시스템의 시작품을 제작하였다.

1) 반송파에는 근 적외선 간접 전파광을 이용한다.

2) 3 채널 심전도 신호의 전송을 하며 PDM/PIM 변조방식을 사용한다.

3) 변조펄스의 듀티 비를 작게하여 소비전력을 작게한다.

시험제작한 시스템의 블록도가 그림 3-1이고, 송수신 시스템의 외관이 그림 3-2이다. 본 장치는 크게 나누면 송신시스템, 수신시스템으로 구성되며 각각 생체신호의 수집, 송신신호의 수신 및 기록장치로의 출력을 한다.

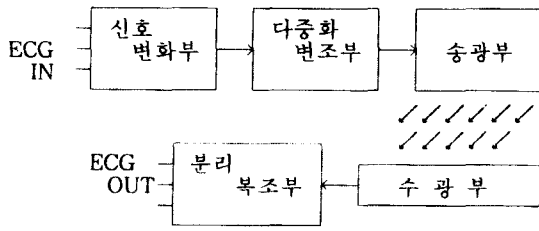


그림 3. 1 빛을 이용한 생체 텔레메트리의 구성  
Fig. 3. 1 Block diagram of optical biotelemetry



그림 3. 2 시험 제작한 시스템의 외관(좌측 수신기, 우측 송신기)  
Fig. 3. 2 Photograph of proto-type optical biotelemetry system

### 3. 1 신호변환부

신호변환부는 생체신호를 전기신호로서 변환하는 부분이다. 전국 리드로부터의 심전도 신호가 버퍼앰프를 경유한 후 제 1, 제 2, 제 3유도에 대응하는 3개의 앰프로 입력된다. 각 앰프에서는 직류성분을 차단하고, 험잡음을 제거한다.

### 3. 2 다중화·변조부

다중화·변조부에서는 신호변환부에서 얻어진 생체신호를 듀티비가 작은 펄스로 변환한다. 심전도 3 채널의 신호를 송신하기 위해 펄스의 간격과 펄스의 순서로서 채널을 식별하여 변조와 동시에 다중화를 한다.

다중화·변조부의 블록도가 그림 3-3이고, 그 타임차트가 그림 3-4이다. 채널 1-3의 변조입력을 동기채널보다 짧은 지속시간으로 하기 위해 버퍼앰프로 입력되는 심전도 신호에 -3V의 오프셋

전압을 중첩하였다. 다중화된 전위에 따라서 펄스의 폭을 변화시켜 펄스폭 변조(PDM: pulse duration modulation)신호가 얻어진다. PDM신호로 발광 다이오드를 직접 동작시키면 발광부의 소비전력이 크게 되므로 PDM 펄스열의 상승 및 하강시, 양쪽에서 단안정 발진회로를 동작시켜 각각 다른 펄스폭(2 $\mu$ s, 4 $\mu$ s)을 갖는 펄스간격 변조(PIM: pulse interval modulation)신호로 변환한다. 플립 플롭 회로에 의해 분주된 파형을 다중화를 위한 동기신호로 이용한다.

그림 3-5가 부반송파 변조기의 입출력 변조특성이다. 채널 1,2,3의 변조 감도가 각각 12.8 $\mu$ s/V, 13.6 $\mu$ s/V, 12.8 $\mu$ s/V이다. 동기채널의 펄스간격은 다른 심전도 채널보다 항상 길게 한다.

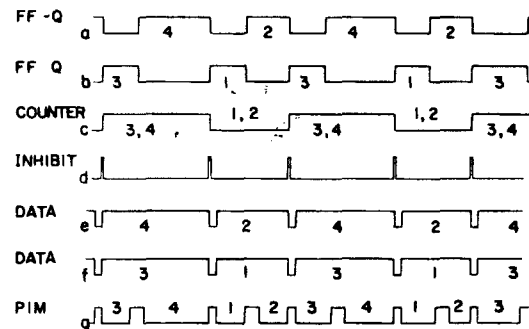


그림 3. 4 다중화·변조부 타임 차트  
Fig. 3. 4 Time chart of multiplexer & modulator

### 3. 3 송광부

송광부는 다중화·변조부에서 얻어진 PIM 펄스열을 발광소자의 밝기변화로 변환한다. 송광부는 적외 발광 다이오드(EL-1L1, 중심 발광파장 940nm) 20개 1조로 되어 있고, 신호광을 넓은 범위로 균일하게 복사시키기 위해 전후 좌우방향으로 곡율을 갖도록 한다. 송광부에는 펄스 동작시, 순간적으로 대전류가 소비되기 때문에 송신시스템의 다른 부분과 전원을 공유하지 않도록 한다. 적외 발광 다이오드 동작회로의 소비전류는 펄스의 폭, 반복주파수에 따라 다르나 펄스폭 2 $\mu$ s, 4 $\mu$ s, 샘플링 주파수 5.8KHz일 때 평균 소비전류는 약 330mA가 된다.

### 3. 4 수광부

수광부의 블록도가 그림 3-6이다. 수광소자에는

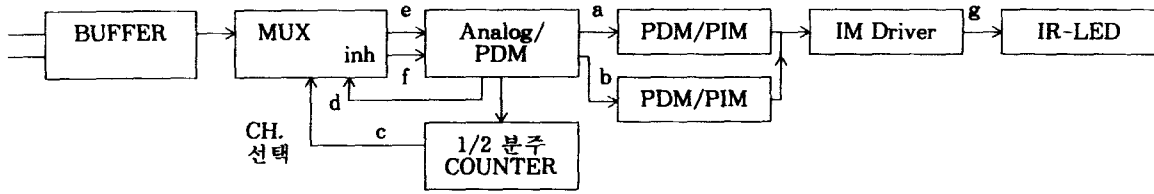


그림 3. 3 다중화·변조부 블록도  
Fig. 3. 3 Block diagram of multiplexer & modulator

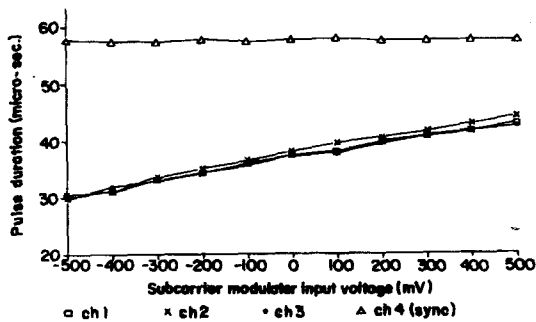


그림 3. 5 부반송파 변조입력 전압과 펄스 지속시간  
Fig. 3. 5 Sub-carrier modulator input voltage vs pulse duration

넓은 파장의 빛을 포함한 태양빛의 영향, 형광등 잡음 등을 제거하기 위해 800Hz-800KHz의 대역을 갖는 대역통과 필터를 사용한다.

### 3. 5 분리, 복조부

분리, 복조부에서는 다중화된 신호를 펄스의 간격과 펄스의 순서로서 채널로 분리하여 펄스간격으로 변조된 신호를 복조 재생한다. 분리, 복조부의 블록도가 그림 3-7이고 그 타임 차트가 그림 3-8이다. 수광기로 부터 얻어진 PIM 신호는 PDM 변환용 FF의 클럭이 되며 FF 회로에 의해 PDM 신호로 복원된다. 한편 펄스폭 검출회로에서 검출한 넓은 폭의 펄스(4μs)로 이 FF는 리셋된다.

PDM-아날로그 변화회로에서는 FF의 출력이 각각 L 레벨 유지시간에서 램프 파형발생기가 동

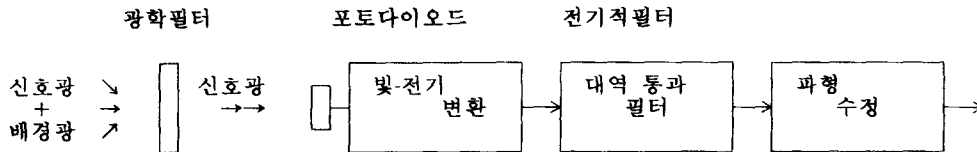


그림 3. 6 수광부의 구성  
Fig. 3. 6 Block diagram of optical receiver

포토 다이오드(중심 파장 940nm, HP-3MLR2)를 6개 사용하였다. 수광부에는 미약한 신호광과 대단히 큰 세기의 배경광(태양광, 실내 조명광)이 동시에 입사한다.

신호광과 배경광의 파장 및 발광 주파수가 다르므로 각각 광학적 필터링 및 전기적 필터링에 의해 신호광과 배경광을 분리하였다. 형광등은 적외선보다 긴 파장의 빛을 거의 포함하지 않으므로 광학필터(LP-900, Micro Coatings)를 사용하여 형광등의 영향을 억제한다.

신호의 재생에 불필요한 고주파 잡음을 줄이고,

작되어 전압값으로 변환된다. FF회로의 출력을 적분하여 각 채널의 정보를 갖는 삼각파가 얻어지고, 이 삼각파의 피크값을 샘플홀드하면 각 채널을 시분할 다중화 신호가 얻어진다.

어드레스 카운터로 선택되는 분리회로(demultiplexer)에 이러한 다중 신호들을 입력하여 심전도 3채널의 신호로 분리한다. 또한 어드레스 카운터는 PIM신호를 클럭으로 동기 검출회로에서 검출된 동기신호(채널 4)로 리셋된다. 채널 1-3에서 얻어진 계단형태의 파형을 버퍼앰프를 경유한 후, 오프셋 조정회로와 이득 조정회로로 구성된 버퍼앰

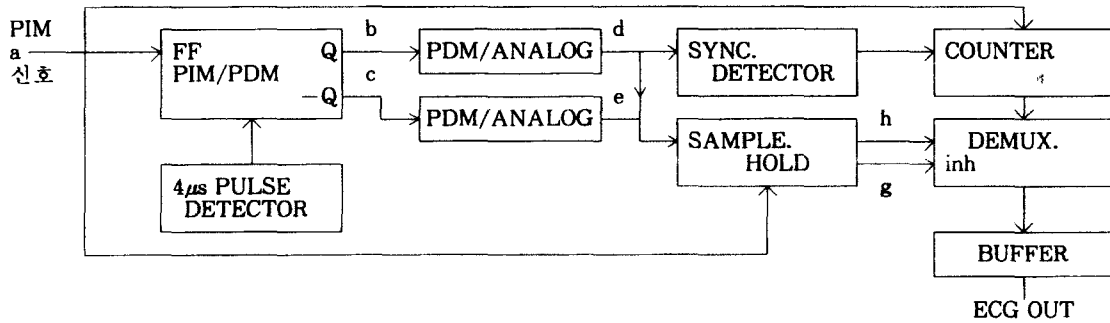


그림 3. 7 분리 복조부의 구성  
Fig. 3. 7 Block diagram of demultiplexer & demodulator

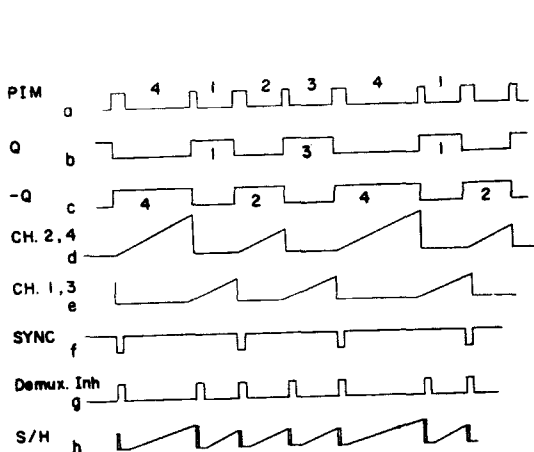


그림 3. 8 분리, 복조부의 타임 차트  
Fig. 3. 8 Time chart of demultiplexer & demodulator

프를 사용하여 심전도 신호를 기록계로 출력한다.

#### 4. 측정 결과 및 평가

실험은 유리창이 없는 6m×6m×3m(높이)의 크기의 방에서 형광등이 점등된 상태에서 수행되었다. 수광기의 포토 다이오드는 천정의 중앙에 아래를 향하도록 고정하고, 송광기의 발광 다이오드는 피측정자의 어깨에 부착하여 천정을 향하게 한 후 실내를 이동하면서 3 채널 심전도(표준 유도)신호를 원격측정하였다.

##### 4. 1 유선 심전계와의 비교

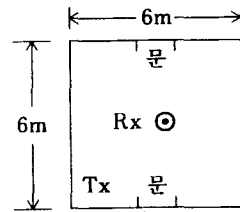


그림 4. 1 송수광기 위치  
Fig. 4. 1 Layout of transmitter & receiver  
Rx : Receiver Tx : Transmitter

시험제작된 시스템이 바르게 동작하고 있는가 또 얻어진 신호정보의 품질이 양호한가를 확인하기 위해 병원에서 사용중인 유선의 심전계에 의한 측정 결과와의 비교를 하였다. 시험은 ECG 시뮬레이터(Biotek, MPS-1)를 3 채널 유선 심전계(HP, Page Writer 4745A)에 접속하고 그 파형을 측정하였다. 또한 동일한 시뮬레이터를 시험제작된 장치의 입력부에 접속한 후 Tx의 위치에서 송신된 파형을 원격측정하였다.(그림 4-1)

그림 4-2가 유선 심전계에 의해 얻어진 파형이고 간접 전파광 원격측정에 의해 Tx 위치에서 송신된 후 얻어진 파형이 그림 4-3이다. 동일한 심전도 시뮬레이터 파형이 얻어지는 것을 알 수 있다.

##### 4. 2 피측정자에의 적용

실험은 정상 성인 남자의 사지에 심전계 전극을 부착하여 서서 이동하는 상태에서 심전도의 원격 측정을 하였다. 서있는 상태에서 유선 심전계로 파형을 얻은 후, Tx로 이동하였을 때의 심전도를 본

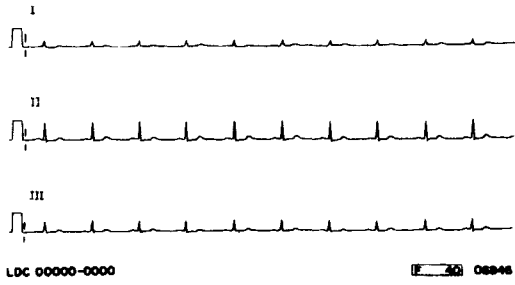


그림 4. 2 유선 심전계로 얻은 ECG 시뮬레이터 파형

Fig. 4. 2 3 CH. ECG simulator signal by wired ECG.

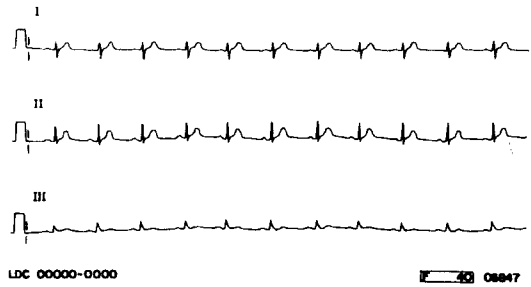


그림 4. 4 유선 심전계로 얻은 3채널 ECG 파형  
Fig. 4. 4 3 CH. ECG Signal by wired ECG

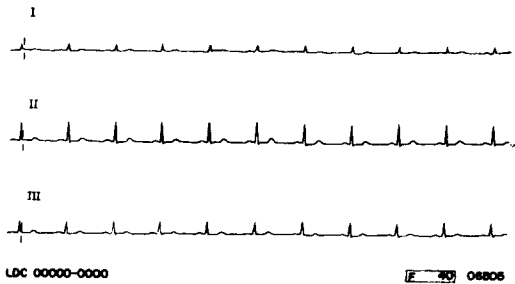


그림 4. 3 Tx에서 송신하여 원격측정 장치로 얻은 ECG 시뮬레이터 파형

Fig. 4. 3 3 CH. ECG simulator signal by IR-telemetry from Tx

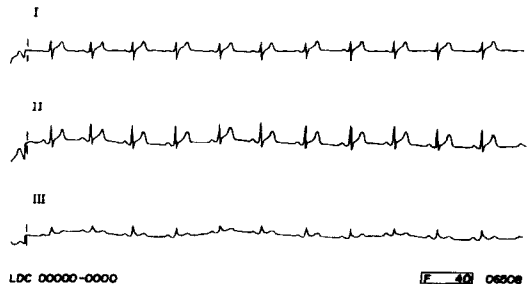


그림 4. 5 Tx에서 송신하여 원격측정 장치로 얻은 3채널 ECG 파형

Fig. 4. 5 3 CH. ECG signal by IR-telemetry from Tx

시험장치로서 원격측정하였다. 유선 심전계에 의해 얻어진 파형이 그림 4-4이고 간접 전파광 원격측정에 의해 Tx위치에서 송신되어 얻어진 파형이 그림 4-5이다. 동시 계측이 아니기 때문에 약간의 차이가 있지만 거의 동일한 심전도 파형이 얻어지는 것을 알 수 있다. 몸의 움직임을 반영하는 근전도의 혼입 및 기선의 흔들림이 미세하게 보이고 있지만 신호전송 자체는 확실하게 되고 있음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

적외선 간접 전파광을 반송파로 사용하여 생체 신호의 원격측정 가능성을 실현하기 위해 적외선 원격측정 시스템을 시험제작하여 3 채널 심전도 신호를 전송하였다. 본 시스템의 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 실내에서 적외선 간접 전파광을 반송파로 사용하여 피측정자로 부터 3채널 심전도 신호의 원격측정이 가능하다.

2) 수신측에서 광학적, 전기적 필터링을 하는 것에 의해 태양광, 형광등에 의한 조명이 존재하여도 빛에 의한 텔리메트리가 가능하다.

3) 실내에서 산란광 신호의 세기는 텔리메트리에 충분히 응용가능한 범위이고 이동중의 피측정자로부터도 안정된 텔리메트리가 수행가능하다.

4) 반사율이 낮은 재질(유리, 검은색 휘장등)이 많이 사용된 실내에서는 충분한 간접 전파광을 얻을 수 없으므로 직접 전파광을 이용한 방식을 고려해야 한다.

본 논문에서의 연구 결과에 따른 앞으로의 빛을 이용한 원격측정 시스템 연구를 발전시키기 위해 해결해야 할 문제에는 송광 거리 및 범위의 확대 방법, 다중통신의 실현, 소모전력의 극소화 같은

것들이 있다.

### 참 고 문 헌

- 1) John G. Webster, Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation. John Wiley & Sons, Inc., 409-422, (1988).
- 2) Watanabe S., New Telemetry System for Medical Use, Masui 38(7), 954-959 (1989).
- 3) Shimizu K., Optical Biotelemetry, BME 2(2), 64-67(1988).
- 4) Kudo N., Shimizu K. and Matsumoto G., Optical Biotelemetry using Indirect Light Transmission, JJMEBE 25(2), 91-98 (1987).
- 5) Kudo N., Shimizu K. and Matsumoto G., Fundamental study on transcutaneous biotelemetry using diffused light, Frontiers Med. Biol. Eng. 1(1), 19-28(1988).
- 6) Kimmich H. P., Biotelemetry based on optical transmission, Biotelemetry Patient Monit. 9(3), 129-143(1982).
- 7) Tyack P., An Optical Telemetry Device to identify which dolphin produces a Sound, J. Acoust. Soc. Am. 78(5), 1892-1895(1985).
- 8) Odagiri H., Tsuda S., Shimizu K. and Matsumoto G., Free-Space Optical Data Link for Biological Multi-Dimensional Information, IECEJ Technical Report, MBE 85-36, 21-28 (1985).
- 9) Takahashi M., Pollak V., Near Infra-red telemetry system, Med. & Biol. Eng. & Comput. 23, 387-392(1985).
- 10) 허수진, 정 찬수, 생체 신호의 무구속 측정을 위한 근 적외선 특성 연구, 대한 의공학회지, 13(2), 141-145 (1992).