

# Micro-Computer를 이용한 뇌파측정에 관한 研究

(A Study on Measurement of Electroencephalogram Using Micro-Computer)

金 玄 郁 \*  
朴 明 圭 \*\*

### Abstract

Bioelectrical measurement has long been an important area in medical researches and practices, and contributed valuable data to the field of human engineering.

In particular, the measurement of EEG has been widely used for the study of brain function as well as for the diagnosis of various brain disorders.

The present study tried to improve conventional measurements of EEG in that FFT algorithm with microcomputer machine language was applied to facilitate the computation of various aspects of the EEG.

## 1. 서 론

全體計測은 오래전부터 研究되어 왔던 醫用生體工學의 基本이며, 최근 人間工學 분야에 많은 자료를 제공해 준다. 本論文에서는 인간의 동작을 제어하는 중추신경계통의 중심인 뇌의 生理的 상태변화를 파악하기 위하여 뇌파잡지처리 방법으로 FFT 알고리즘을 이용하였으며 보다 더 신속하게 처리하는 수단으로 마이크로 컴퓨터의 기계語를 使用하였다. 本研究에서는 아날로그 형태의 파형을 마이크로 컴퓨터로 처리하기 위하여 입력신호를 표본화하여 디지털 신호로 바꾸어 처리하였다.

## 2. 기초이론

### 2.1 인간동작의 제어체계

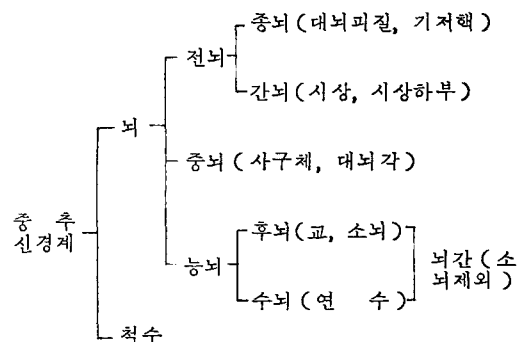
인간의 동작을 연구하기 위하여는 人體構造 활동 및 인체의 40%를 차지하고 있는 筋肉의 활동이 어떻게 이루어지는가에 대한 제어기능의 이해가 필요하다.

生理學者들은 筋肉에는 隨意筋과 不隨意筋이 있으며 모든 筋肉은 대뇌나 척수에 의하여 통제된다고 한다. 隨意筋은 인간의 의식적 제어하의 筋肉活動 즉 사람의 의식동작들을 可能케 한다고 한다. 인간이 행하는 간단한 동작이라도 움직임의 활동은 시간

과 강도가 조화를 이룬 연속적인 筋活動이며 이러한 筋活動의 統合은 뇌로부터 척수를 통해 筋肉으로 가든가 또는 筋肉에서 나오는 신경 임펄스에 의존한다. 筋肉活動이 발생하므로 비로소 신체의 움직임이 나타나게 되며 이러한 筋肉活動은 중추신경 계통의 제어를 받게 된다. 그러므로 筋肉의 動作은 대뇌피질 속의 운동영역세포로부터 척수 및 신경섬유를 통하여 대뇌 속 신경세포의 임펄스가 筋肉에 도달되어야 발생하게 되며 各筋肉은 筋纖維로 이루어져 있기 때문에 수축의 강도와 힘과 속도를 제어할 수 있게 된다.<sup>1)</sup>

### 2.2 중추신경구조 및 뇌파

筋肉의 동작을 제어하는 중추신경계는 다음과같이 구분된다.



1) 이병기, 백용기, 이근희, 運動과 生理學 (서울: 創知社, 1982).

\* 明知大 電子工學科

\*\* 明知大 産業工學科

뇌간의 기능은 척수와 대뇌·소뇌를 연결하는 구성성 및 원심성 전도 경로의 통로역할 및 반사중추·자동중추 등이다.

소뇌는 좌우의 소뇌반구와 증양부의 虫部로 구성되고 뇌통발생학적으로는 전정신경핵의 상위중추로써 연속적 일부가 증가하여 생긴 것이다. 원심성 섬유는 소뇌척수신과 시상을 거쳐 대뇌피질 운동영역 또한 전정신경핵·적핵·교핵·망양체를 거쳐 척수전주 세포에 연락하고 신체의 평형을 관장하고 전신운동 기능에 관제하고 있다.

간뇌는 시상과 시상하부로 이루어지며, 시상의 기능으로는 피질하의 시상하부, 선상체 등과의 연락 및 소뇌에서 운동령으로 가는 경로의 중계핵 등이 있고 시상하부는 자율성 기능의 종합적 중추가 존재하는 곳으로서 관장하는 자율기능은 분노·체온조절·수분 및 혈당에 대한 작용 등이다. 기저핵은 대뇌피질하의 핵을 말하며 미상핵·담장구·피핵의 총칭이다. 계통발생학적으로 진화에 따라 뇌의 기능은 아래에서 위로 이동하며 대뇌피질에 집중하게 되며 이것을 신경작용의 頭端移動이라 한다. 대뇌피질의 기능은 부위에 따라 다르며 각 부위에 따라 일정한 기능을 갖는다. 특히 단순한 운동 및 지각에 있어서 그 소재는 비교적 확실하며 중추의 소재도 정해져 있어 운동령·지각령·연합령으로 구별된다.

전극을 두피에 붙이고 뇌의 전위변동을 유도하면 5~50 μV의 파가 발생하게 되는데 이를 뇌파(EEG)라고 한다. 뇌파발생 원인은 심전도(ECG)와 같이 생체세포의 흥분과 회복의 과정으로서 분극·탈분극·재분극에 의해 두뇌외부에 전도되는 기전력이다. 뇌파의 경우 심전도와 같이 심장수축에 따른 주기적파는 없고 그때그때의 일정리듬에 따라 波高가 높고 낮은 파동으로 나타난다. 따라서 뇌파의 분석은 파동의 주파수와 파고, 두 가지 요소를 살피는 것이다.

발생뇌파의 대표적인 주파수밴드에 따라 α·β·δ 및 θ 波로 대별되며 이는 신체의 상태에 따라 다르게 나타나게 된다. 例로서 안정시에는 약 10 Hz(α 파), 정신활동시 17~30 Hz(β 파), 수면시에는 1~8 Hz(δ 파)가 발생되며 순간적인 운동 및 발작시에는 낮은 주파수의 높은 波高를 갖는 波를 볼 수 있다.<sup>2)</sup> 따라서 여러가지 인간동작에 따른 뇌파의 변화를 측정함으로써 뇌의 활동상태를 알 수 있다.

2·3 FFT 이론

FFT(Fast Fourier Transform)는 DFT(Di-

cret Fourier Transform)에서 반복되는 계산을 줄임으로써 DFT보다 빨리 계산을 할 수 있을뿐만 아니라 round-off-error를 감소시켜 보다 더 정확한 계산을 할 수 있다.

일정한 주기의 {X(n)}에 대한 N point DFT (0 ≤ n ≤ N-1)는

$$X(K) = \sum_{n=0}^{N-1} X(n) e^{-i(2\pi/N) nK} \dots\dots\dots(1)$$

(K = 0, 1, …, N-1)

(1)식을 W = e<sup>i(2π/N)</sup> 으로 치환하면

$$X(K) = \sum_{n=0}^{N-1} X(n) W^{nK} \dots\dots\dots(2)$$

(2)식을 n = 짝수, 홀수로 구분하면

$$X(K) = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} X(2n) W_N^{2nK} + \sum_{n=0}^{(N/2)-1} X(2n+1) W_N^{(2n+1)K} \dots(3)$$

(3)식에서

$$X_1(n) = X(2n)$$

$$X_2(n) = X(2n-1), (n = 0, 1, \dots, \frac{N}{2}-1)$$

로 치환하면

$$X(K) = \sum_{n=0}^{N/2-1} X_1(n) W_{N/2}^{nK} + W_N^K \sum_{n=0}^{N/2-1} X_2(n) W_{N/2}^{nK} \dots\dots\dots(4)$$

$$= X_1(K) + W_N^K X_2(K) \dots\dots\dots(5)$$

이때 X<sub>1</sub>(K)와 X<sub>2</sub>(K)는 X<sub>1</sub>(n)과 X<sub>2</sub>(n)의 N/2 point DFT이다.

최종 결과식은

$$X(K) = X_1(K) + W_N^K X_2(K) \dots\dots\dots(6)$$

$$X(K + \frac{N}{2}) = X_1(K) - W_N^K X_2(K) \dots\dots\dots(7)$$

식 (6)과 (7)을 이용하기 위해서 入力를 짝수부와 홀수부로 재배치할 필요가 있는데 이를 bit reverse 라고 한다. 가령 入力數 N이 2의 배수일 때 N = 2<sup>g</sup>으로 나타내면 g번 재배치하므로써 DFT에서 요구되어지는 연산횟수를 최소로 줄일 수 있다.

N = 8 즉, g = 3일 때의 bit reverse 과정은 그림 1과 같다.

2) 채의업, 生理學 (서울:배영출판사, 1981).

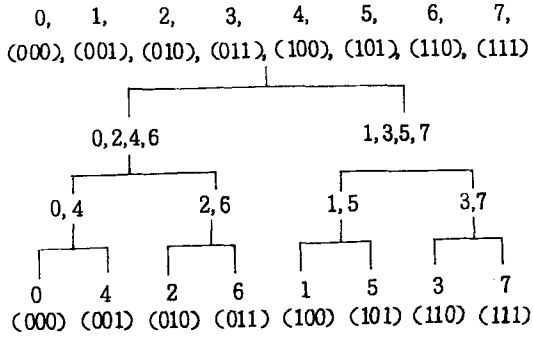


그림 1. N=8일 때의 bit reverse 과정

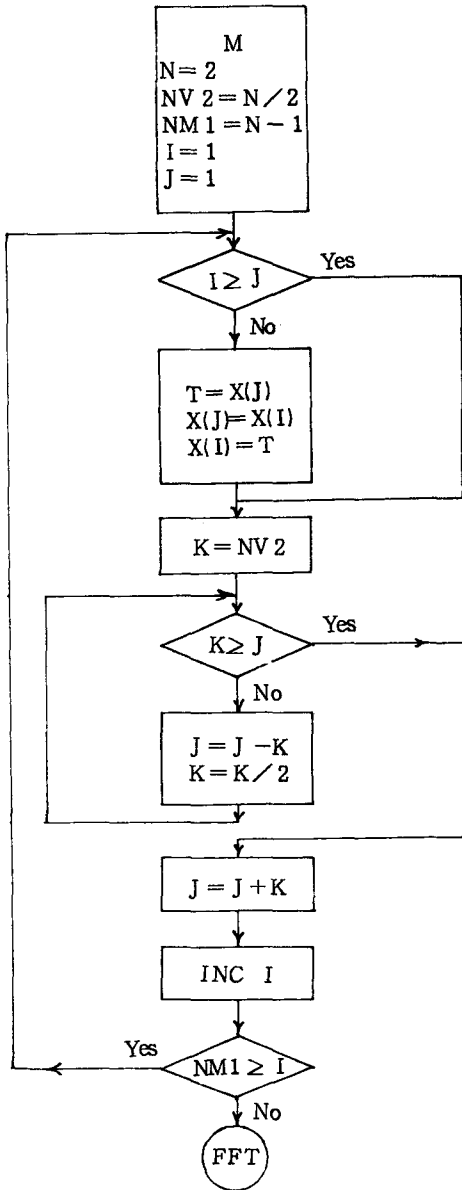


그림 2. bit reverse flowchart

우선 0~7 중에서 짝수부분 0, 2, 4, 6과 홀수부분 1, 3, 5, 7로 나눈 다음 각 부분을 다시 짝수부분과 홀수부분으로 세분해가면 최종 배열순서는 그림 1의 하단과같이 된다.

이와같은 bit reverse 과정을 Flow chart로 나타내면 그림 2와 같다.

入力을 A·B, 出力을 X·Y라고 할 때 Butterfly 방식에 의해 나타내면

$$X = A + W_N^k \cdot B$$

$$Y = A - W_N^k \cdot B$$

윗식의 flow graph는 그림 3 과 같다.

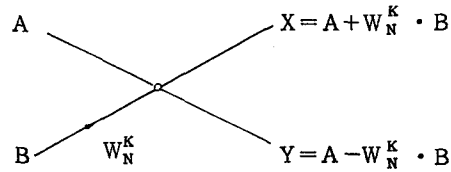


그림 3. FFT butterfly

8 point FFT일 때, 먼저 bit reverse를 한 다음 (6)과 (7)식을 Butterfly방식을 이용하여 그리면 그림 4와 같다. 즉, L=1에서는 2 point DFT를 행하고 L=2에서는 4 point DFT를 행하며 L=3에서는 8 point DFT를 행하게 된다.

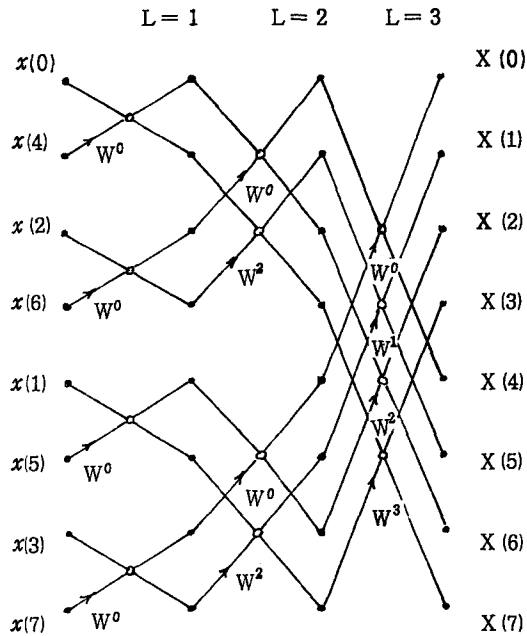


그림 4. 8 point FFT

이러한 FFT과정의 flow chart는 그림 5와 같다.

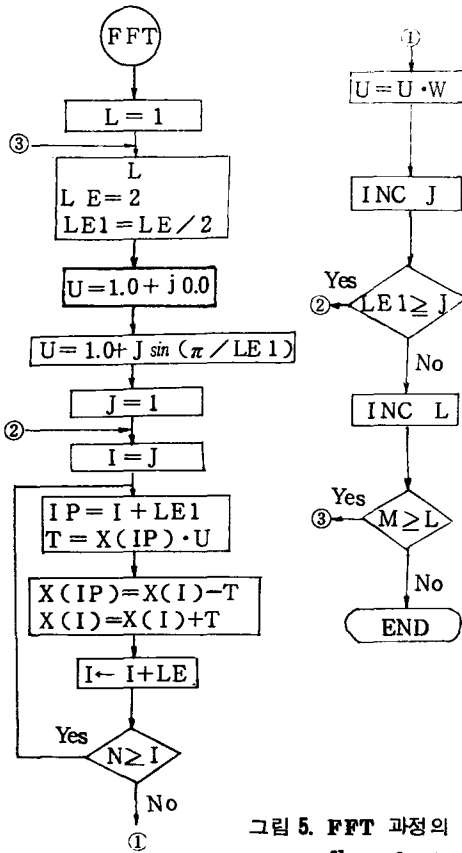


그림 5. FFT 과정의 flow chart

### 3. 프로그램

포트란과 같은 하이레벨 언어는 프로그램하는 사람의 입장에서 보면 기계어보다 편리하나 마이크로 컴퓨터를 사용할 경우 대형 혹은 미니 컴퓨터에 비해 처리속도가 많이 떨어지고 본논문과 같이 마이크로프로세서를 사용하여 주파수분석을 할 경우 시스템의 간소화와 처리속도를 증가시키기 위해서는 모든 프로그램이 필연적으로 기계어로 작성되어야 한다. 여기서는 포트란 언어로 된 Cooley와 Tukey의 FFT 알고리즘을 기계어화하였는데 하이레벨 언어는 가산 · 감산 · 승산 그리고 제산으로 분해될 수 있으므로 아래와같은 알고리즘을 사용하여 기계어 FFT 프로그램을 작성하였다.

#### 3.1 플로팅 포인트 연산

원래 하이레벨 언어에서는 컴파일러가 모든 수치들의 데이터 형(format)을 정하여 주나 기계어를 사용한 관계로 프로그래머가 데이터 형을 정해야 하는데 픽스드 포인트(fixed point)보다는 플로팅 포인트 연산이 정확하고 나타낼 수 있는 범위가

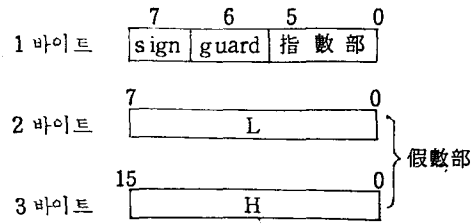


그림 6. 데이터 형

넓기 때문에 플로팅 포인트 연산을 이용하였다. 먼저 데이터 형을 그림 6에 나타내었는데 하나의 수를 나타낼 때 모두 세 byte가 사용된다. 첫 비트는 부호(sign) 비트로 사용되며 양수를 나타낼 때는 '0', 음수를 나타낼 때는 '1'로 표시한다. 그리고 두번째 비트는 guard 비트로 사용되는데, 이것은 두 수를 곱할 때 두 수의 지수부 부분을 더하게 되는데 이때 두 수의 지수부의 첫번째 비트가 '1'이면 오버플로우(overflow)가 발생하므로 이것을 방지하기 위한 것이다. 그 뒤의 여섯 비트는 지수부 부분으로 biased exponent 방식을 사용하였고 여기서는 bias를  $20_{16}$ 으로 정하였다. 즉  $20_{16}$ 은  $2^0$ 을 나타내게 된다. 그리고  $21_{16}$ 은  $2^1$ 을 나타내며  $22_{16}$ 은  $2^2$ 을 나타낸다. 또한  $1F_{16}$ 은  $2^7$ 을,  $1E_{16}$ 은  $2^8$ 을 나타낸다. 이러한 방식으로 나타내면  $2^{-32}(00_{16}) \sim 2^{31}(3F_{16})$ 까지 나타낼 수 있다. 나머지 두번째, 세번째 바이트는 가수부이다.

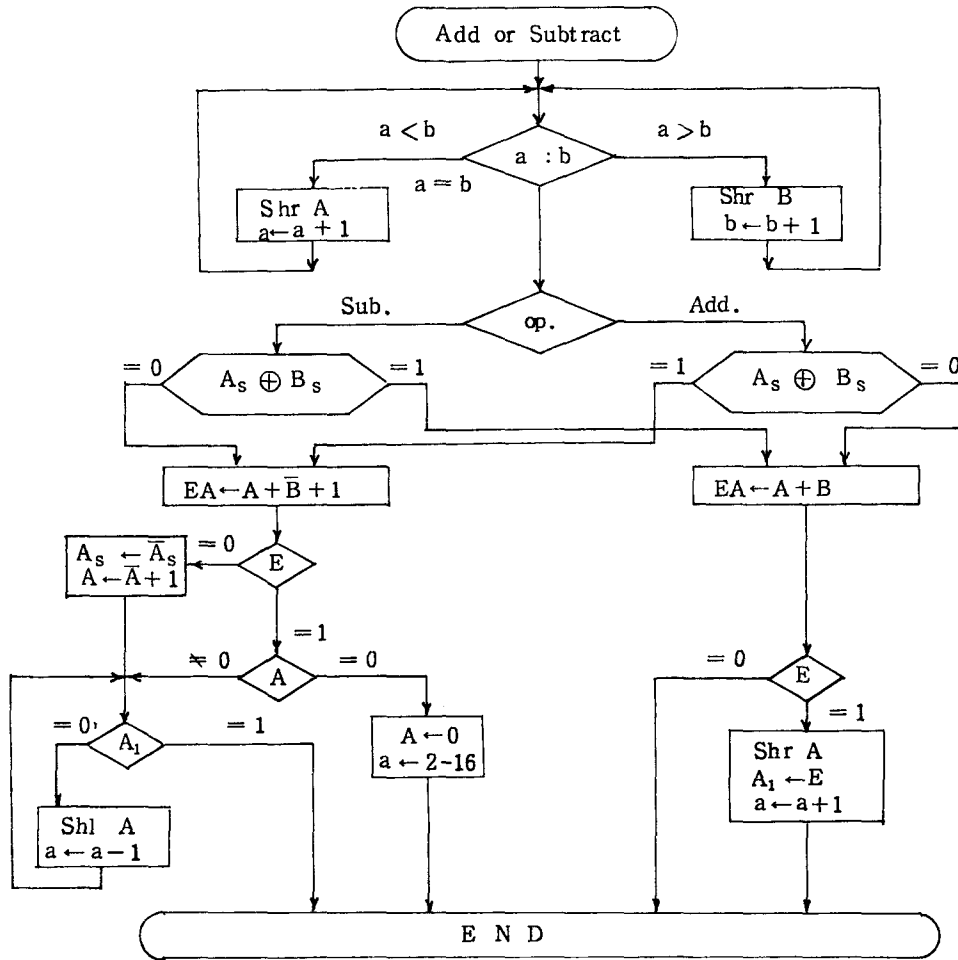
#### 3.2 가산과 감산

그림 7과같이 먼저 지수부(a, b)를 비교하여 같지 않으면 지수부가 적은 쪽의 가수부(A, B)를 오른쪽으로 한번 이동하고 지수부를 하나 증가시켜 다시 비교한다. 그리고 오버플로우가 발생하면 오른쪽으로 가수부를 하나 이동시키고 지수부를 하나 증가시켜 오버플로우를 막는다. 또 언더플로우(underflow)가 발생하면 가수부를 왼쪽으로 이동시키고 지수부를 하나 감소시키며 가수부의 첫번째 비트( $A_1$ )가 '1'이 될 때까지 반복한다.

#### 3.3 승산

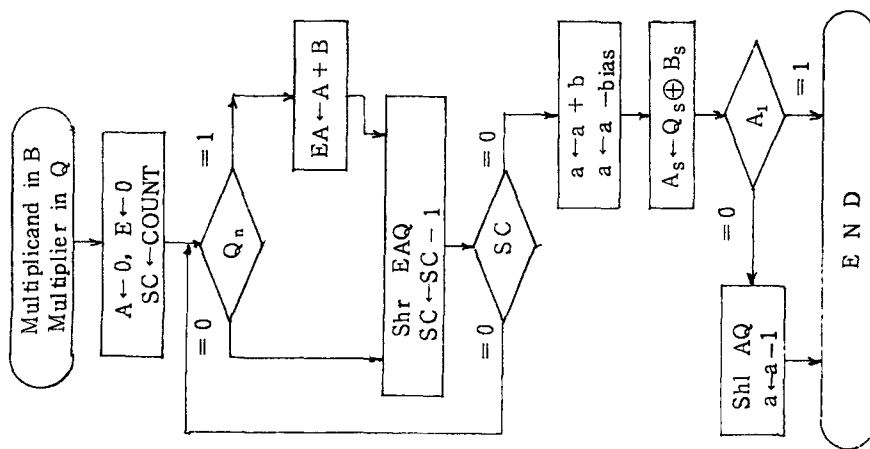
그림 8과같이 가수부를 서로 곱하고 지수부를 서로 더하는데 여기서는 biased exponent 방식을 사용하였으므로 지수부의 승은 bias의 두 배를 더한 것과 마찬가지로 합에서 bias를 빼므로서 정확한 값을 얻을 수 있다.

가수부를 서로 곱할 때 오버플로우는 발생하지 않으며 단지 가수부의 첫번째 비트( $A_1$ )가 '0'이면 한번만 왼쪽으로 이동하고 지수부 부분을 하나 감소시키면 된다.



a, b : 指數部  
 A, B : 假數部  
 E : carry  
 $A_s, B_s$  : sign 비트

그림 7. 플로우팅 포인트 가산과 감산



$Q_n$  : Q의 最下位 비트  
 그림 8. 플로우팅 포인트 승산

3·4 기계어 프로그램

모든 포트란 언어는 가산·감산·승산 그리고 제산으로 이루어져 있으므로 위의 알고리즘을 사용하여 입력 형성 프로그램, 비트 리버스(bit reverse) 프로그램, FFT 프로그램 그리고 파워 스펙트럼을 구하는데 사용되는 제곱근을 구하는 프로그램을 등을 기계어로 작성하였다. 단지 sin 계산과 제곱근을 구하는 방법은 sin 계산의 경우 여덟개의 값만이 사용되며 제곱근 계산의 경우에는 Michel Andrews의 방식을 사용하여 테이블을 작성하여 계산하였다.

Bit reverse 과정 및 FFT 기계어 프로그램은 다음과 같다.

Bit reverse program

8400	210190	LD HL, 7001
8403	010190	LD BC, 9001
8406	E5	PUSH HL
8407	AF	XOR A
8408	ED42	SBC HL, BC
840A	F22A84	JP P 842A
840D	E1	POP HL
840E	1606	LD D, 06
8410	5E	LD E, (HL)
8411	0A	LD A, (BC)
8412	77	LD (HL), A
8413	7B	LD A, E
8414	02	LD (BC), A
8415	23	INC HL
8416	03	INC BC
8417	15	DEC D
8418	C21084	JP NZ, 8410
841B	2B	DEC HL
841C	0B	DEC BC
841D	2B	DEC HL
841E	0B	DEC BC
841F	2B	DEC HL
8420	0B	DEC BC
8421	2B	DEC HL
8422	0B	DEC BC
8423	2B	DEC HL
8424	0B	DEC BC
8425	2B	DEC HL
8426	0B	DEC BC
8427	C32B84	JP 842B
842A	E1	POP HL

842B	110006	LD DE, 0600
842E	EB	EX DE, HL
842F	CBB8	RES 7, B
8431	CBA0	RES 4, B
8433	E5	PUSH HL
8434	AF	XOR A
8435	ED42	SBC HL, BC
8437	F24D84	JP P 844D
843A	7D	LD A, L
843B	2F	CPL
843C	6F	LD L, A
843D	7C	LD A, H
843E	2F	CPL
843F	67	LD H, A
8440	23	INC HL
8441	00	NOP
8442	00	NOP
8443	44	LD B, H
8444	4D	LD C, L
8445	E1	POP HL
8446	CB3C	RL H
8448	CB1D	RL L
844A	C33384	JP 8433
844D	E1	POP HL
844E	09	ADD HL, BC
844F	CBFC	SET 7, H
8451	CBE4	SET 4, H
8453	44	LD B, H
8454	4D	LD C, L
8455	13	INC DE
8456	13	INC DE
8457	13	INC DE
8458	13	INC DE
8459	13	INC DE
845A	13	INC DE
845B	21FA9B	LD HL, 9BFA
845E	AF	XOR A
845F	ED52	SBC HL, DE
8461	62	LD H, D
8462	6B	LD L, E
8463	F20684	JP P 8406
8466	C9	RET

FFT program

85F2	AF	XOR A
85F3	320E85	LD (850E), A
85F6	010600	LD BC, 0006

85F9	212100	LD HL, 0021
85F0	220085	LD (8500), HL
85FF	218010	LD HL, 1080
8602	220285	LD (8502), HL
8605	210000	LD HL, 0000
8608	220485	LD (8504), HL
860B	3A5E85	LD A, (850E)
860E	211085	LD HL, 8510
8611	1600	LD D, 00
8613	5F	LD E, A
8614	19	ADD HL, DE
8615	E5	PUSH HL
8616	C606	ADD A, 06
8618	320A85	LD (850E), A
861B	110190	LD DE, 9001
861E	D5	PUSH DE
861F	C5	PUSH BC
8620	D5	PUSH DE
8621	DDE1	POP IX
8623	DD59	ADD IX, BC
8625	DDE5	PUSH IX
8627	FD210085	LD IY, 8500
862B	D5	PUSH DE
862C	CDEE80	CALL 80EE
862F	ED43A085	LD (85A0), BC
8633	22A185	LD (85A1), HL
8636	DD23	INC IX
8638	DD23	INC IX
963A	DD23	INC IX
863C	CDEE80	CALL 80EE
863F	ED43A385	LD (85A3), BC
8643	22A485	LD (85A4), HL
8646	FD23	INC IY
8648	FD23	INC IY
864A	FD23	INC IY
864C	CDEE80	CALL 80EE
864F	ED43A685	LD (85A6), BC
8653	22A785	LD (85A7), HL
8656	DD2B	DEC IX
8658	DD2B	DEC IX
865A	DD2B	DEC IX
865C	CDEE80	CALL 80EE
865F	ED43A985	LD (85A9), BC
8663	22AA85	LD (85AA), HL
8666	DD21A085	LD IX, 85A0
866A	FD21A685	LD IY, 85A6

#### 4. 실험 및 결과

일반적인 주파수 분석장치는 광범위한 주파수 성분을 분석하기 위하여 사용하는 것으로 본논문의 주된 목적인 낮은 주파수 성분을 검출해내는 것과는 용도상 다소의 차이가 있다.

본논문에서 작성한 프로그램의 확인을 위하여 50 Hz의 정현파를 512번 표본화한 결과를 그림 9에 나타내었다.

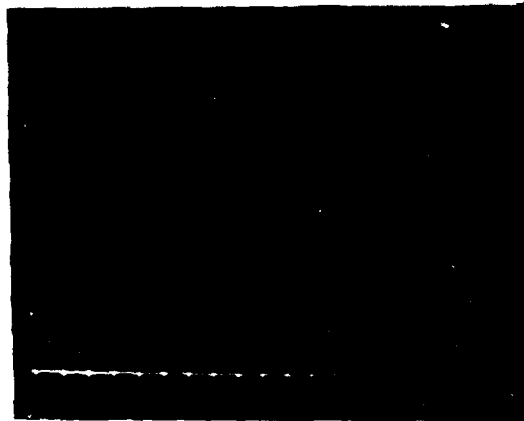


그림 9. 50 Hz Sin 파의 power spectrum

그림에서와같이 50 Hz 성분의 주파수가 정확하게 추출되었으며 이의 처리시간은 10.9초로 같은 계산을 BASIC語로 계산한 시간인 15분에 비하여 대단히 빠른 것을 확인할 수 있었다.

#### 5. 결 론

마이크로 프로세서를 사용하여 낮은 주파수인 뇌파에 대하여 주파수 성분을 분석하였다. 신호 발생기나 이미 실험결과가 나와있는 뇌파형을 대상으로 실험한 결과 FFT 연산에 사용되는 데이터들의 표본화 시간이 입력 뇌파 주기의 정수배에 가까울수록 정확한 결과를 얻을 수 있었다. 본실험에서는 MZ-80형 마이크로 컴퓨터를 사용하였으나 모든 프로그램이 기계어로 작성되었으므로 실제 사용시 CPU와 메모리 및 간단한 주변장치만으로도 구성될 수 있다.

인간의 신체 각 부분에 따라 특성이 서로 다른 전기적 신호를 발생시키고 있으므로 이의 분석을 통하여 인간공학에 필요한 제반 자료를 추출할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 1) 이병기, 백용기, 이근희, 運動과 生理學, 서울 : 創知社, 1982.
- 2) 채의업, 生理學, 서울 : 배영출판사, 1981.
- 3) Andrews, Michel, "Mathematical micro-processor software :  $A\sqrt{x}$  Comprison" *IEEE MICRO*, May, 1982.
- 4) Brigham, E. Oran, *The Fast Fourier transform*, Prentice - Hall, Inc., 1974.
- 5) Rabiner, Lawrence R., and Bernard Gold, *Theory and application of digital signal processing*, Prentice - Hall, Inc., 1975.
- 6) Rader, C.M., "Fourea - A Short demonstration version of FFT", *Programs for digital signal processing*, IEEE Press, 1979.
- 7) Stearns, Samuel D., *Digital Signal Analysis*, Hayden Book Company, Inc., 1975.