

— 차 례 —

- 1. 序 言
- 2. Computer graphics의 入出力 장치의 기능
- 3. 음극선관을 사용한 Computer Graphics Terminal의 종류
- 4. Computer Graphics 기술의 개발
- 5. Computer Graphics의 응용
- 6. 우리나라에서의 Computer Graphics
- 7. 結 言

## 1. 序 言

Computer가 인간사회에 문제해결의 한 도구로써 개발되던 때 그 사용의 범위가 인간사회 전반에 걸쳐있고 그 효과 역시 막대하였다. 이에 따라 인간은 Computer를 좀더 효과적으로 사용할 수 있는 방법을 찾기위해 끊임없이 연구해 왔다. 이와같은 연구의 결과들은 크게 두 분야에서 그 결실을 맺고 있는 것이다. 그 하나는 Computer System 자체에 대한 전반적인 문제들을 연구개발하는 분야이고 다른 하나는 사용자들 중심으로 하는 Computer의 응용분야에 대한 연구이다. Computer graphics는 후자에 속하는 분야로써 어떤 의미에서는 Computer가 전공분야가 아닌 일반 사용자에게 좀더 가까운 분야라 할 수 있겠다.

Computer graphics는 종래의 Computer System에 갖는 入出力 과정의 불합리성을 제거하기 위하여 개발되었다. 즉 우리 주위에는 많은 사실들이 文章에 의한 意思의 전달보다는 그림에 의해 이루어 질때 더욱 효과적이고 편리할때가 많다. 각종 설계도면 및 graph가 위 사실을 입증하는 좋은 예이다. 이러한에도 불구하고 종래의 入出力 System은 모든 정보를 숫자, 문자 혹은 기호에 의하여 전달하려 하였으며, 人間은 Computer의 결과를 다시 그림으로 변경하여 분석하고 결론을 얻어야하는 2단계의 작업이 필요했던 것이다. 이와같은 비능률적인 단계를 없애고자 하는 노력이 곧 Computer graphics이며, 이 분야의 개발이 Computer체통의 연구에 큰 비중을 차지하게 된 요인이 되었다. 즉 graphics Computer는 좀더 편리하고 정확하게 Computer를 사용해 보자는 인간노력의 첨단이 며 현재에 와서는 Computer graphics에 대한 Hand ware 및 Software의 원활한 공급과 일반사용자의 신뢰속에 그 응용의 범위를 급속도로 넓혀가고 있으며 그 위치를 공고히 해가고 있다.

이번 기회에는 Computer graphics에 대한 전반적인 내용을 소개하므로써 멀지않은 장래에 우리에게 전 개될 Computer graphics에 대한 이해를 돕고자 한다.

## 2. Computer graphics의 入出力 장치의 기능

종래 사용되던 주변장치(例로써 Tele typewriter)와 같이 Computer graphics terminal도 크게 입력장치와 출력장치로써 구별 할 수 있겠다. graphics에 있어서 입력장치란 그 목적이 필요한 위치를 지적하여 상응되는 숫자로 표시 할 수 있도록 하는 것이며, TaJlet, Light pen, 및 Cursor등이 널리 사용되어 지고 있다. 한편 출력장치는 Computer에 의해 발생된 Digital신호를 analog신호 혹은 Control신호로 변환시켜 정확한 위치를 표시할수 있도록 하는 것이다. 이와같은 출력장치는 크게 두가지로 분류되는데 첫째는 음극선관(CRT)을 사용한 출력장치로써 원하는 위치에 電子의 Beam을 보낼 수 있는 장치이고 둘째는 X-Y plotter로써 Drawing pen을 기계적인 구동력에 의해 지시된 위치로 이동시킬 수 있는 장치이다. 즉 입력장치는 통상 2차 평면에서의 위치를 측정하여 Computer에 보내는 반면, 출력장치는 Computer에 의하여 발생된 신호를 2차 평면에 표시해 주는 장치이다. 이와같이 Computer graphics의 입출력 장치가 2차 평면에서의 문제를 다루기 때문에 3차 공간의 문제를 다루는데 있어서는 여러가지 문제점을 갖는다. 즉 3차 공간의 물체를 2차 평면으로 변환시켜야하며 이와같은 변환의 작업을 main Computer가 담당하느냐, graphics terminal이 담당하느냐에 따라 graphics terminal의 가격에 많은 차이를 가져오게 되는 것이다. 그러므로 이상적인 graphics terminal이란 그 자체가 완전히 Computer의 기능을 갖으므로써 그림을 그리는데 필요한 제반 연산 문제는 Terminal 스스로가 해결하여 main Computer에 전혀 부담을 주지 않도록 하는 것

會員：陸士教授部 電氣科助教授(工博)

이다. 또한 음극선관은 그 반응 속도가 빠르기 때문에 이를 사용한 graphics Terminal은 main Computer와 직접연결(ON-line)되어 사용되어지나, 전기기계적인 구동장치에 의하여 설계된 plotter는 속도가 Computer의 연산능력에 비해 대단히 늦기 때문에 Computer와 직접 연결되지 않고(off-line) 통상 Computer에 의해 준비된 magnetic tape에 의하여 동작된다. 이렇게 plotter를 off-line으로 운용하므로써 Computer의 연산속도와 plotter의 그림그리는 속도간에 오는 불균형을 보완할 수 있다.

### 3. 음극선관을 사용한 Computer graphics terminal의 종류

앞에서 말한바와 같이 plotter는 속도때문에 통상 off-line으로 운용되어지며 이러한 경우 plotter의 Computer와의 interaction은 불가능하며, 다만 Computer가 만들어낸 Data를 그림으로 표시 한다는 이외에는 특별한 기능을 갖지 못한다. 그러므로 여기서는 Computer와 직접 Interaction이 가능한 음극선관을 사용한 graphics Terminal들에 대하여 알아보기로 하였다. 요즘의 모든 graphics Terminal들은 우선 종래의 Terminal들이 갖고 있는 기본적인 기능을 갖고 있어 화면상에 기호, 문자 및 숫자등을 표시할 수 있도록 되어있으며 이에 덧붙혀 Vector generator 및 Curve generator가 있어 화면상에 직선 및 곡선을 그릴수 있도록 되어 있으며 이것이 graphics의 기본이 된다.

다음은 음극선관의 종류와 사용방법을 기준으로 하여 분리해 본 graphics Terminal의 종류들이며, 이와같은 구별방법은 일반적으로 널리 사용되고 있는 방법이다.

(1) Direct view Storage Tube (DVST) type은 한번만 전자 Beam이 통과하면 그 잔상이 화면에 남아 있도록 설계된 음극선관을 사용한 Terminal이다. 이렇게하여 그려진 화면의 잔상은 화면을 지우는 신호가 들어갈때까지 계속하여 남아있다. 장점으로는 비교적 정확하고 복잡한 그림을 그릴 수 있다. 이 그림은 화면에 잔상으로 남아있는 것이기 때문에 화면에 계속하여 전자 Beam을 보내 줄 필요가 없어(Refresh가 필요없다) Hardware가 비교적 간단해지며 값이 싸지고 사용시에는 Main Computer에 적은 부담을 준다. 입력장치로써는 Cursor가 Terminal에 감치되어 있는 경우가 많다. 단점으로는 그림을 그리는 속도가 비교적 늦은 장비이며, 현재로써는 화면内の 그림중 일부를 선택하여 지울 수 없으므로 화면 전체를 지우고 다시

그려야하므로 Interaction에 비교적 비능률적이다. 이 Terminal은 물체의 운동을 animation하는에는 적합하지 않다.

(2) Refresh-Tube type은 우리가 늘 사용하고 있는 Oscilloscope와 같이 전자Beam이 화면을 때릴때만 그림이 형성되는 형이다. 그러므로 그림이 떨리지 않고(flickerless) 계속 볼 수 있게 하려면 1초에 최소한 30번 정도 화면에 전자Beam을 보내주어야 한다(Refresh라고 함). 이 Refresh는 Terminal자체가 갖고 있는 Buffer나, main Computer 혹은 Disk에 의하여 이루어지고 있으며 이에따라 복잡한 그림을 그리는 데 있어서 제한을 받게된다. 이 Terminal의 입력장치로는 통상 Light pen이 감치되어 있다. 장점으로는 운동의 animation이 가능하며, 화면에 그려진 그림의 일부를 지워버릴 수 있다. 그러므로 Interaction면에서 DVST보다 우월하다. 단점으로는 지속적인 Refreshing이 필요하며 DVST type에 비해 값이 비싸다.

(3) Video monitor type으로써 TV장치와 비슷하다. 이 장치에는 Scan Converter라는 것이 있어 아주 작은 Storage tube type에 그려진 그림을 커다란 화면에 옮겨줄 수 있도록한 장치이다. 장점으로는 DVST보다 속도가 빠르며 화면그림의 일부를 지울수도 있으며 비교적 쉽게 천연색 그림을 얻을 수 있다, 단점으로는 아직도 다른 형에 비해 개발이 늦기 때문에 그리 인기있는 Terminal의 형태가 아니며 속도면에서는 Refresh-Tube type보다 늦기 때문에 운동의 animation에 제한을 받는다.

### 4. Computer Graphis 기술의 개발

Computer graphics는 크게 두 분야에 걸쳐 개발되고 있다. 그 한분야가 기술의 개발이며 다른분야가 응용의 개발이다. Computer graphics에서 기술의 개발이라 하면, 좀더 실물답게, 좀더 신속하게 그리고 좀더 값이 싸게 그림을 그릴 수 있는 방법을 모색하기 위한 Terminal(Hardware)를 개발하거나 program(software)를 개발함은 물론 전체 Computer graphics System에서 Hardware와 Software간에 구성비율을 결정하므로써 전체 능력을 극대화 시킬수 있도록 연구함을 의미한다.

Computer graphics가 2차 평면의 그림을 표시할 때는 큰 문제가 일어나지 않는다. 예로써 전자회로를 그린다든지, 건물의 평면도를 그린다든지 하는 문제는 2차 평면內的 그림을 2차 평면에 옮겨 그리는 것이기 때문에 쉽게 그림을 그릴 수 있다. 그러나 3차 공간을

차지하고 있는 물체를 2차 평면으로 변환시켜 정확하게 그 물체를 표시하기란 그리 용이한 일이 아니다. 이와같은 문제를 해결하기 위하여는 미술에 있어서 논의되는 기본개념들을 정확히 이해하여야 하며 이 개념들을 Computer와 graphics terminal을 사용하여 정확하게 표현될 수 있도록 하여야 한다. graphics에서 중요하게 등장하는 문제가 평면상에, 물체의 입체감을 나타내는 것과 물체의 표면을 정확하게 표현하여 주는 문제이다. 이 문제들을 해결하기 위하여 다음 사항들이 연구되고 있다.

(1) 투시도에 의한 표현방법이다. 투시도라하면 물체중 눈에 가까운 부분은 상대적으로 크게 표현하고 멀리 있는 부분은 상대적으로 작게 표현하는 기술을 말한다. 그림 1에 6면체를 여러 형태로 그려 보았다. 그림 1(a)는 입체감은 주나 어떤면이 앞에 있고 어떤면이 뒤에 있는가 하는 길이를 알 수가 없다. (b)는 (a)를 투시 처리한 그림으로 (a)보다 훨씬 깊이가 명확하다.

(2) 보이지 않는 선이나 면을(Hidden line과 Hidden Surface) 제거하는 방법이다. 그림 1(c)는 (b)의 경우에서 보이지 않는 선을 제거한 경우이고 그림 1(d)는 (a) 경우의 보이지 않는 선을 제거한 경우이다. 보다 깊이의 표현이 잘 나타난다.

(3) 눈에 가까운 부분과 먼부분을 화면에 표시할때 그 밝기를 다르게 해주므로써 깊이의 효과를 얻을 수

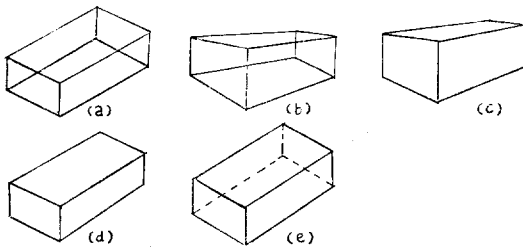


그림 1. 육면체의 여러가지 표현

있다. 실제 사용하는데 있어 보이지 않는 선을 찾아내어 제거하는 것은 많은 Computer시간을 요하기 때문에 대신 밝기에 의해 깊이를 표시해 주는 방법이 응용 단계에서는 인기가 있다. 그 예를 그림 1(e)에 보았다.

(4) 그림자를 넣는 방법이며

(5) 투명효과와 표면의 질을 정확히 표현할 수 있는 방법이다.

(6) 색깔을 사용하는 방법이다. 이것은 Computer graphics terminal 자체가 천연색 음극선관으로 구성 되어야하며 색을 형성하기 위해 흑백의 경우보다 최소

한 3배의 정보를 더 필요하게 된다. 그러나 화면의 질이 흑백에 비해 월등히 좋기 때문에 궁극적으로는 천연색 graphics가 사용될 전망이 크다.

지금까지 화면의 그림을 실물과 같게 하도록하는 처리방법을 알아보았다. 이와같이 처리된 그림들은 사용자의 의도에 따라 위치, 크기등이 조작가능해야 한다. 즉 Computer graphics를 사용하여 원하는 설계를 완성하고 그 그림을 Computer에 의해 처리하여 이상의 유무를 판단한 뒤 수정해야할 부분은 직접 화면을 통하여 수정하므로써 최종설계를 완성할 수 있어야 한다. 이와같은 설계과정에 필요한 화면조작 기술로써는 다음 사항들이 요구된다.

(1) 화면에 그림을 회전(Rotation)시킬수 있어야 한다. 이것은 X,Y,Z 축을 중심으로 하여 물체의 회전이 그림상에 표시되는 것을 말하며 이렇게 하므로써 물체의 모든 부분의 관측이 가능해진다.

(2) 화면의 그림을 이동(Translation)시킬수 있어야 한다. 즉 화면의 물체를 X,Y,Z축을 따라 평행이동이 가능하여야 하며 이것은 회전능력과 함께 물체를 공간상 어느곳에든지 위치시킬수 있는 능력을 갖게하는 중요한 요소가 된다.

(3) 화면그림의 크기를 조정할수 있어야 한다(Scaling). 즉 물체의 어느 특정한 부분을 세부적으로 관찰하고 싶을때는 그 부분을 확대하여 화면에 나타날수 있도록 할 수 있어야 하며 또한 정밀설계가 요구되는 부분은 설계도면을 실물의 수배로 크게 그려 설계하므로써 설계상의 잘못을 줄일수 있다.

(4) Windowing을 할수 있어야 하는데, 이것은 화면상에 나타내어야 할 부분을 전체 Data상에서 선택하므로써 불필요한 Data를 처리하여야 하는 것을 방지할뿐 아니라 한 화면에 여러 그림을 동시에 표시 하므로써 그림간의 상호연관성을 찾는 문제에 효과적으로 사용될 수 있다.

(5) 선이나 면을 화면으로부터 제거하거나 덧붙일수 있는 능력이 필요하다. 이렇게 하므로써 인간과 Computer는 신속하게 Interaction할수 있으며 Computer를 사용하며 일을 설계처리 하는 과정에서는 필수요소가 되겠다.

(6) 화면에 기호, 문자및 숫자를 사용자가 원하는대로 첨가시키거나 없앨수 있어야한다.

지금까지 소개된 화면구성 기술이나 화면 조작기술 이외에 또 한가지 중요한 사항은 이들 기술을 Computer System이 얼마나 신속히 처리할수 있는나 하는 속도문제이다. 속도를 증가시키기 위하여 우선 필요한

사항이 능률적인 algorithm의 개발이다. 이와같이 개발된 algorithm은 Hardware화 하므로써 더욱더 빠른 그림을 얻을수 있다. 그 대표적인 예가 Evans and Sutherland회사의 graphics System으로 위에 열거한 모든 기술들의 대부분을 Hardware화 하였다.

### 5. Computer Graphics의 응용

사용자의 관점에서 Computer graphics는 graphics에서 개발된 기술들을 어떻게 실제문제에 응용할 수 있는가 하는 것이다. 이것은 곧 어떠한 기술을 어떤 분야에 어떻게 응용할 수 있는가를 결정하여 주어진 문제를 해결하는데 유효적절하게 사용할수 있도록 하는 것을 말한다. 그러므로 응용문제에서 우선 고려하여야 하는 사항은 종합적인 면에서 분석한 경제성이다. 다음에 현재 외국에서 사용하고 있거나 개발과정에 있는 응용의 예들을 소개한다.

(1) 가스 공급을 위한 monitor 및 통제 장치에 응용 : Colorado의 Public Service Company는 gas공급 통제설을 on-line Computer화 하였으며 monitoring을 위하여 Computer graphics를 이용하였다.

(2) 정유공장 설계에 응용 : 미국 오클라호마에 있는 Amoco Production Company의 연구소에서는 자연 gas와 LPG생산을 위한 공장을 Simulation하는데 Computer graphics를 사용하고 있다.

(3) 석유 유전에 응용 : 유전에서 석유를 파내다 보면 바위틈에 원유가 끼어 캐어 낼 수 없는 경우가 생기게 된다. 이러한 원유량을 감소시키기 위하여 Morgartown Energy연구소는 Minard Run oil Company와 west Virginia University Computer Center와 협력하여 연구하고 있으며 油井 상호간의 압력분포를 표시하는데 Computer graphics를 사용하였다.

(4) 전력 발전 및 송전 시설에 응용 : 발전소로부터 각 사용자에 적절하게 전력을 공급할 수 있도록 계획하고 수행하는 일은 매우 복잡한 일이다. Bonneville Power Administration은 이 문제를 해결하기 위해 Computer graphics System을 도입하여 전력공급처와 수요측의 변화사항을 수시로 monitor할 수 있게 하였으며 전 송배전 시설을 통제할 수 있게 하였다.

(5) 광산 안전 시설에 응용 : 미국의 Interior Department의 Bureau of Mines에서는 광산 갱내의 안전을 계속 점검할 수 있는 ON-line Computer System을 Mine Safety Appliances Company와 General Electric Company의 협조로 개발하고 있다. 여기에 입출력장치는 Tektronix의 4010 graphics terminal이 사

용되고 있다.

(6)水力발전을 위한 河川水 통제에 응용 : 미 연방 Columbia River Power System은 27개의 댐을 갖고 수력발전을 하고 있는데 이 수력발전의 조정 통제는 Bureau of Reclamation과 미 육군 공병대에서 Computer graphics를 사용하여 담당한다. 이 System은 각 Dam의 수문통제는 물론 발전 및 배전시설의 정비 일정 등 다방면의 통제를 자동적으로 수행한다.

(7) 각종 타이어의 설계에 응용 : 세계 최대의 타이어 제작업소인 Uniroyal에서는 타이어의 설계에 Computer graphics를 도입하였다.

(8)造船의 자동 절단장치 설계에 응용 : Liffon Industries의 한 방제회사인 Ingalls에서는 선박제조에 필요한 자동절단장치의 paper tape을 제조하는데 Computer graphics를 사용한다. 이 회사는 paper tape의 설계는 물론 완성된 paper tape도 매분 200인치 정도 점검하고 있다.

(9) 수치제어 밀링기계에 응용 : 일리노이주에 있는 Ingersoll Milling machine Company에서는 Computer graphics를 이용하여 자치로부터 주문받은 제어용 Tape을 생산한다.

(10) 치과에 응용 : University of Michigan 치과대학에서는 Computer graphics를 이용하여 치열을 조정하고 X-ray를 분석하는 system을 연구하고 있다.

(11) Incubator-monitor System의 개발 : Cincinnati general Hospital과 Children's Hospital medical Center에서는 Incubator-monitor System에 Computer graphics를 사용하여 연구중이다.

(12) 허파 질병 연구에 응용 : Yale대학의 허파연구소는 外部로부터 측정된 Data와 허파질병간에 연관성을 찾기 위한 Data의 분석에 Computer graphics를 도입하였다. 이하의 사항은 제목과 연구소만을 명시하겠다.

(13) 핵의학(Nuclear Medicine)에 응용 : Texas, Dallas에 있는 Southwest medical School.

(14) 심장병 연구에 응용 : Duke University, University of Utah, University of Colorado.

(15) 생산 部品점검에 응용 : Ford motor Company.

(16) 여객기 조종 훈련 System의 개발 : Montreal의 CAE Electronics Ltd.

(17) 자동차 외형과 부품의 설계 : 미시간 Highland park의 Chrysler Corporation.

(18) 도시에서의 교통 신호의 통제 : Atlanta주와 Tektronix의 합작연구.

(19) 지도의 제작

(20) 생물학에서 Molecule의 모양 관찰 및 분석에 응용 : 미국의 National Institutes of Health.

(21) 천체망원경의 통제 및 Data 분석에 응용 : Association of Universities for Research in Astronomy.

(22) 석탄광의 환풍통제장치 : Colorado School of mines.

(23) Management Analysis and Projection Service: general Electric Company.

(24) 재고품 관리 및 생산품의 통제 : Uniroyal Tire Division.

(25) Printed Circuit Board의 제작

(26) Integrated Circuit mask film의 제작

(27) 기계복회사에서의 옷 Design 및 재단에 응용.

## 6. 우리나라에서의 Computer Graphics

현재 우리나라에서 사용가능한 Computer graphics System은 과학원에 있는 DVST type terminal이 Nova minicomputer에 연결되어 있는 System과 과학기술연구소(KIST) 전산실에 PDP-11이 main Computer로 되어 있는 GT-44 Refresh tube type graphics System이 있다. 과학원에 있는 System은 가설 후 국문표시 Display Terminal의 제작을 위한 Simulation 및 미분방정식을 푸는 MIMIC의 출력수단으로 사용하면서 점차 그 응용 범위를 넓혀가고 있다. 한편 과학기술연구소의 graphics System은 최근에 도입된 뒤 연구소 자체의 기술진에 의하여 설치를 끝내고 operating System등 System 가동에 전력을 다해왔으며 현재는 BASIC Language를 사용하여 Interactive Computer graphics가 가능하게 되었다. 부가하여 현재 양 기관이 갖고 있는 System의 문제점을 든다면 우선 화면에 나오는 그림을 Hardcopy하는 장치가 부족되어 있지 않다는 것이겠고(사진기에 의한 COPY는 가능함), 둘째는 다방면으로 사용할 수 있는 Digitizer가 시설되어 있지 않다는 것이다. 그러나 이와같은 시설은 응용분야가 확실해지고 사용자의 수요가 증가하여 경제적인 타당성이 입증되면 곧 보강될 수 있으리라 믿는다.

## 7. 結 語

이제까지 Computer graphics의 전반적인 분야에 대하여 기초적인 사항을 광범위하게 서술하였다. 여기서 다루어진 모든 Topic들은 세분되어 좀더 세밀히 소개되어 지거나 연구되어야 할 문제들이다. 수학이나

물리학과 같은 순수과학과 工學 같은 응용과학간에 항상 얼마간의 간격을 갖고 있든지 Computer graphics에서도 기술의 발달과 응용간에는 얼마정도의 간격이 있는 것도 사실이다. 이와같은 간격은 기술을 개발하는 곳과 응용하는 곳간에 장비의 차이때문에 오는 Computer System 자체의 제한 때문이기도 하지만, 기술의 개발이란 좀더 순수하고 깊게 Computer graphics의 분야를 파고들기 때문에 많은 경우 이 기술을 직접 응용하는 데는 효율성이나 경제성에 있어 적합하지 않다. 이와같은 사실을 기술개발의 측면에서 보면 현재의 Computer graphics의 기술이 공학 및 인류사회 과학 전반에 걸친 응용문제를 해결해 나갈 수 있다는 것을 뜻하며, 이것은 Computer graphics가 응용 범위를 넓혀가는데 기술면에서 많은 지장을 받지 않을 것이라는 것을 의미하기도 한다. 이렇게 Computer graphics가 우리생활에 좀더 가깝게 접근되므로써 종래의 설계과정에서 이루어지던 많은량의 종이와 연필을 사용한 시간 소비적이고 비능률적인 작업방식은 Computer graphics에 의하여 급속히 교체되어 갈 것이다. 이와같은 추세는 인건비가 상승될수록, 제품생산의 시기가 국제시장점유율의 승패를 좌우하게 되면, 그리고 경영진의 신속하고 정확한 판단이 요구되면 요구될수록 급격히 가속 될 것이다. 이렇게 되면 현재의 Computer Center들은 사용자를 위하여 반드시 Computer graphics system을 설치하여야 할 것이다.

이렇게 되므로써 인간은 단추만 잘 누르면 되는 기계적인 동물들로 변환될런지 모른다. 그러나 그때가 오면 인간이 지금은 예측하지 못하는 더 어려운 문제들을 맞게 될 것이며 그때에도 Computer graphics는 또 새로운 문제해결의 도구로써 유용하게 사용 될 줄로 믿는다.

## 참 고 문 헌

1. Hong, S.W. "The Mathematical Model of Human Spine" Ph.D. Thesis, 1975
2. Knowlton, "Capture and Display of Keyboard Music", Datamation, may, 1972
3. Newman and Sproull, "Principles of Interactive Computer Graphics," McGraw Hill, 1973
4. Computer Graphics, Special Issue, Volumn 8, No. 1, Spring 1974
5. Computer Decisions, "Graphic Terminals: Man's Window of Interactive Computing," November, 1971
6. Tekgraphics, Tektronix, 1972~1975