

# 플라우 작업 곡면의 컴퓨터 원용 설계

## Computer-Aided Design of Plow Working Surfaces

정 창 주\*

C. J. Chung

박 진 식\*

J. S. Park

우 상 하\*

S. H. Woo

### Summary

This study was intended to develop the design program of the working surface of moldboard-plow by use of the computer-aided design. The mathematical model of the working surfaces of moldboard-plows by use of computer graphics was developed and plotted in two dimension on three major planes. The surfaces of moldboard-plows were represented with "B-spline surface fitting" by selecting the twenty-five three-dimensional data that could well describe the working surface of moldboard-plow. The shape of moldboard-plow on three major planes was drawn for varied design parameters.

The representation of the mathematical model for the working surfaces of various types of moldboard-plows was manipulated by translation, rotation and scaling about arbitrary axes in space.

By using three-dimensional graphics technique to describe moldboard-plows, it was capable of plotting the three-dimensional shape of moldboard-plow easily and quickly in comparison with the existing design methods that were difficult to grasp the shape of moldboard-plow as a whole.

The design theories of moldboard plow and three-dimensional computer graphic technique were applied to find out the improved reversible Jaenggi bottom. It was resulted in the newly developed shape of Jaenggi which may be used for improving the performance compared to existing ones.

### 1. 緒 論

근래에 耕耘 作業의 機械化가 추진되면서 서양식 쟁기인 플라우가 많이 이용되고 있다. 이 플라우는 田作 중심의 대규모 영농이 이루어지는 서양에서 대형 트랙터의 부대 작업기로 개발, 발전되어 온 것으로 그 구조적 특성과 성능에

대한 깊이 있는 기술적 평가도 없이 농업과 토양, 사용되는 트랙터의 특성 등이 서양과는 크게 다른 우리나라에서 그대로 이용되어 왔다.

따라서 耕耘 作業의 적정화를 위해 개선의 여지가 많은 것으로 지적되고 있다.

플라우의 설계는 토양의 다양성과 작업의 비대칭성 등 많은 설계 요인이 작용하기 때문에

---

\* 서울대학교 農科大學 農工學科

대단히 어려운 과제로서 지금까지는 경험적·시행착오적 설계기법이 주축이 되어 발전되어 왔다. 그러나 근래의 컴퓨터 원용 기술의 발전에 따라 많은 변수와 연산을 동시에 처리할 수 있고 설계 화면을 가시화 할 수 있는 CAD 기법으로 플라우를 설계하는 것은 종래의 경험적 설계, 제작을 개선하는 방법을 제공하여 여러 가지 설계요인을 감안한 새로운 플라우 개발에 기여할 것으로 기대된다.

본 研究의 目的은, 플라우의 설계 요인과 곡면의 수학적 모델을 토대로 여러 형태의 플라우 곡면 설계의 프로그램을 개발하고, 아울러 컴퓨터 그래픽 기술을 이용하여 플라우 곡면을 3차원 좌표상의 여러 위치에서 나타내며, 양용의 개선된 쟁기 곡면을 찾아내는 데 있었다.

## 2. 플라우 設計의 數學的 模型化

플라우를 설계하는 방법에는 여러가지가 있으나 본 연구에서는 플라우의 형상을 정면도, 평면도, 측면도의 3각도법으로 나타내는 방법을 사용하였다. 본 연구에서는 직선 모선법과 하나의 기준선을 기초로 하는 곡면 설계방법을 채택하였다. 사용된 주요 설계 변수로는 경심과 경폭, 모듈드보드의 높이 등이 있다. 다음은 사용된 각 설계 변수의 정의와 계산식이다.

### ① 보습의 폭 (B)

$$B = b + \delta b$$

여기서,  $b$ 는 역토의 구조적 경심이고,

$\delta b$ 는 폭 보정계수로서, 표준 플라우의 경우 2~4cm 이다.

### ② 모듈드보드의 측면의 높이 (h)

$$h = b + \delta h_1 + \delta h_2$$

여기서,  $h_1$ 는 흙의 특성을 고려한 정정치로서,

보통 또는 굳은 흙의 경우에는 0~2cm, 경사질토의 경우에는

$a > 15\text{cm}$  일 때 0~2cm

$a < 15\text{cm}$  일 때 2~3 cm

초지용의 플라우에서는  $-0.1b \sim -0.2b$ 를 잡는다.

$\delta h_2$ 는 경운 속도를 고려한 정정치로서, 작업속도  $< 7 \text{ km/hr}$  인 경우에는 0cm, 작업속도  $> 7 \text{ km/hr}$  인 경우에는 매 1 km/hr 증가할 때마다 0.5~1 cm 를 증가시킨다.

### ① 모듈드보드의 최대 높이 (H)

$$H = \sqrt{a^2 + b^2} + \delta h_2 + \delta h_3$$

여기서,  $\delta h_3$ 는 표준 플라우의 경우에 0~3 cm 이다.

### ② 모듈드보드의 이선과 날개쪽 측면틈은 각기

$\delta S_1 = 0.5 \sim 1\text{cm}$ 와  $\delta S_2 = \text{약 } 2\text{cm}$ 를 잡는다.

## 2-1. 정면도

모듈드보드의 정면도를 설계하기 위해 그림 1에 나타난 것과 같은 방법을 이용하였다.

① 밑쪽의 모서리(직선  $A_1D$ )는 오버랩을 고려한 경폭 즉,  $A_1D = b_1 = \delta b + b$ 를 사용하였다.

② 보습과 모듈드보드의 날개 모서리(직선  $DK$ )는 역벽에 약간 기울어지도록 하였다. 날개 모서리의 높이  $H$ 는 경폭  $b$ 와 같다.

③ 작업 모서리(직선  $EN$ )는 두께  $a_1 = (a + 2.5)$  cm 를 가진 가상적인 역조가 주어진 경심으로 작업 할 경우 작업 모서리각  $\theta$ 는 연속적으로 쌓인 역조의 이론적인 각도와 近似해야 하며,  $-3 \sim 5^\circ$  정도의 각도 차이가 있을 수 있다.  $\theta$ 는 다음 관계식에서 구한다.

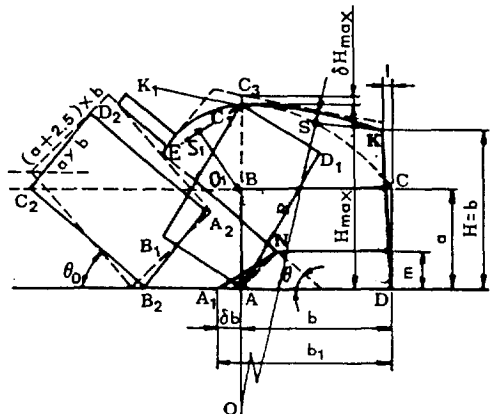


Fig. 1 Drawing to plot the front view of the moldboard.

$$\theta = \arcsin \frac{a + \delta a}{b}$$

지면에서 E점까지의 수직 거리 H'는 다음 관계식과 같이 구한다.

$$H' = \sqrt{a^2 + b^2} - \frac{b}{2} \sin \theta$$

④ 모울드보드 상한 곡線 EC<sub>1</sub>K의 작도

C<sub>1</sub>A를 지나는 수선을 긋고, 直線 C<sub>1</sub>K의 수직 2등분선을 S로부터 그으면 점 O에서 만난다. C<sub>1</sub>과 K를 지나는 원호는 반경 R=OC<sub>1</sub>로 한다.

또한 直線 EC<sub>1</sub>의 수직 2등분선 S<sub>1</sub>으로부터 수선을 그은후 수선상의 점 O<sub>1</sub>의 위치를 O<sub>1</sub>S<sub>1</sub>= $\sqrt{2}$  EC<sub>1</sub>로 구한다. C<sub>1</sub>과 K를 지나는 원호는 반경 R<sub>1</sub>=O<sub>1</sub>E로 한다.

2-2. 회전도

전면 투영도의 90° 회전도에 대한 작도 방법을 그림 2에 나타내었다.

지금 BC선에 대하여 모울드보드의 높이 H가 주어지면 G점이 결정되며 다음식으로 L'를 결정한다.

$$L' = L \sin \theta$$

여기에서 L : 모울드보드 측면도에서의 경사 길이를 나타내며, 모울드보드의 가파름을 결정하는 L/H 지수가 주어지고 H를 알면 L을 구할 수 있다.

$\theta$  : 설정각

F점에서 FG와 FE가 90+ $\Delta \gamma$ 가 되게 내린 선과 BC와  $\gamma$ 를 이루는 선의 교점 E점을 설정한다. 여기서  $\Delta \gamma$ 는 0°~5°이다. BK는 보습 끝쪽에 있는 보습의 직선부로서 KE와 EF에 내접하는 완만한 곡선을 접선 방법으로 구한다. 즉, 直線 KE와 EF에 접하는 포괄포물선을 작도하면 그림 2와 같은 KF의 회전기준선을 얻는다.

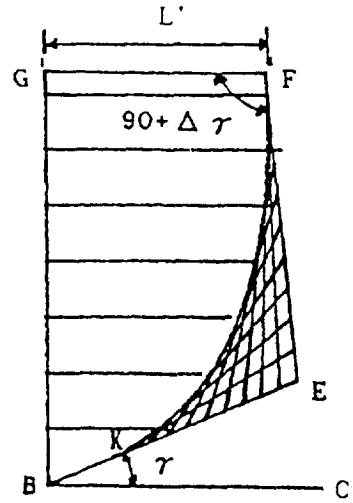


Fig. 2 Plotting of parabolas by the tangential method

3. 모울드보드 圖示 프로그램 개발

그림 3은 모울드보드를 작도하기 위한 프로그램의 흐름도이다.

플라우의 주요 설계 요인은 경심, 경폭, 부하각, 절단각, 설정각으로 하였다. 그림 4는 이 프로그램의 한 설계 예로서, 본 연구에서 정립된 플라우의 설계 이론을 바탕으로 경심 20cm, 경폭 30cm, 부하각 18°, 절단각 24°, 설정각 42°로 하였을 때 圓筒形 모울드보드 플라우 곡면을 직각 3면도에 나타낸 것이다. 도면에 나타낸 등고선의 간격은 일정하게 5cm로 하였다.

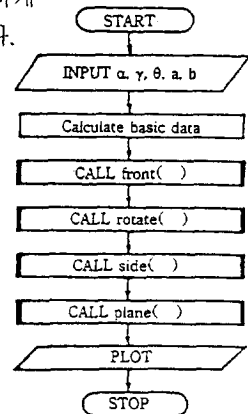


Fig. 3 Flow chart to plot the moldboard-plows by plane parallel to the plane of plan.

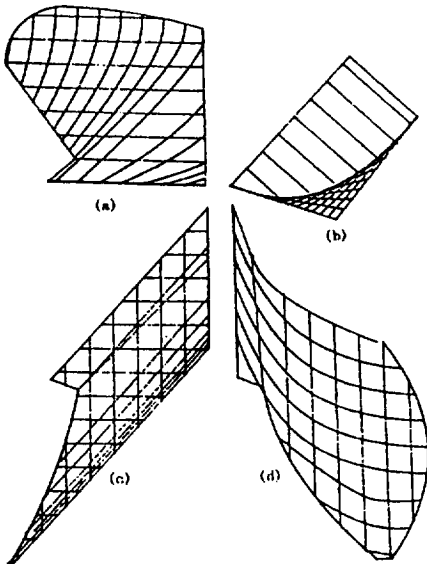


Fig. 4 Design of cylindrical moldboard by the method of single directrices.

a) front view b) guide curve c) top view d) side view

#### 4. 컴퓨터 그래픽을 이용한 플라우 曲面 設計

##### 4-1. 3차원 座標界에서의 플라우 曲面의 형상화

본 연구에서는 플라우 曲面 설계에 기본적인 설계 변수들을 먼저 설정하고, 설정된 설계 변수들의 변화 범위에서 각 변수들을 바꿔가면서 플라우 曲面을 그릴 수 있도록 프로그래밍하였다. 기본적인 설계 변수들과 변화 범위는 경심의 경우 15~35cm, 경폭의 경우 25~40cm, 설정각의 경우 30°~50°, 부하각의 경우 12°~20°, 절단각의 경우 20°~30°, 주행 속도의 경우 5km/h~12km/h 이다.

3차원 플라우 曲面을 정확히 표현하기 위하여 數學的 모델링을 통하여 직교 3면도에 나타내었다. 평면도가 X-Y면, 정면도가 Z-X면, 측면도가 Y-Z면이 되도록 표현하였으며, 평면도와 측면도의 상응하는 共通座標 값을 이용하여 3차원

X, Y, Z 값을 찾아내었다. 이와 같이 얻어진 자료는 보습 부분과 모울드보드 부분으로 나누었고, 모울드보드의 자료는 모울드보드의 형상을 나타내는 경계값과 임의의 座標를 등고선에 따라 일정하게 25개 선정하였고, 보습은 4점의 꼭지점 座標를 선택하였다.

##### 4-2. 곡면 형성을 위한 기본 가정

본 연구에서는 3차원 自由曲面의 형성을 위해 “B-스플라인 曲面 fitting” 방법을 사용하였다. 보통 曲面 패치는 4개의 境界曲線으로 이루어지며, 이들이 점렬상으로 접속된 상태에서 曲面 형상을 구성한다. 25개의 자료로 모울드보드 플라우를 3차원상에 재구성하기 위하여 기하학적인 가정으로서, ① u와 w 방향으로 똑같은 수의 요소들을 이용하고, ② 曲面은 u와 w 방향으로 15개의 요소들로 나누었으며, ③ 보습의 4개의 경계값은 直線으로 하고, 아울러 ④ 보습과 인접한 모울드보드의 모서리는 直線으로 가정하였다.

여기서 u와 w는 “B-스플라인 曲面”을 만드는데 사용된 매개변수로서, 그림 5에 나타난 것과 같은 방향을 갖는, 각 곡선상의 점들의 상대적 위치를 나타낸다.

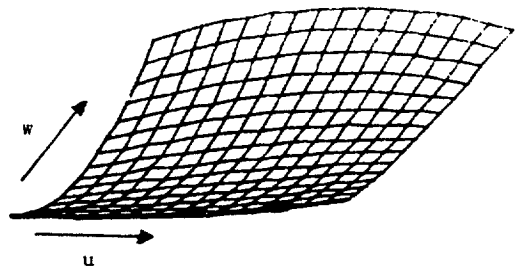


Fig. 5 Definition of B-spline surface.

##### 4-3. 3차원 그래픽 프로그램 개발

그래픽 프로그램은 기본 설계 변수를 토대로 수학적 모델링을 하여 얻어진 25개의 모울드보드 자료와 4개의 보습 자료를 이용하여, 모울드보드 曲面과 보습을 3차원 座標界에 형상화시켰다.

주어진 자료를 이용하여 “B-spline 曲面 fit-

ting"에 의하여 제어점을 찾아내었고, 찾아낸 제어점으로 자료점들을 近似하게 지날 수 있도록 "B-스플라인 曲面"으로 그렸다. 또한 u와 w방향으로 제어점을 몇 개(5개 이하)로 설정하는가에 따라서 曲面의 형상이 바뀌게 되므로 본 연구에서는 3개의 제어점으로써 자료를 지나는 2차 曲面이 되도록 하였다.

본 연구에서 사용된 컴퓨터는 640×350의 해상도를 갖는 VGA 카드를 내장하고 있으며 2 Mega-bytes의 기억용량을 갖는 IBM PC 386 SX기종이다.

출력 장치로는 Multi-synchronized Color Monitor와 Roland社의 Flat형 X-Y Plotter인 DXY-1200을 사용하였다. 프로그램은 Turbo-C로 작성

하였으며 주프로그램의 흐름도를 그림 6에 간략히 나타내었다.

그림 7은 개발된 프로그램에 의하여 설계된 圓筒形 모울드보드로서, 다른 설계 변수 값은 같게 설정하고 설정각의 값만 달리하여 평면도와 측면도를 나타낸 것이다. 그림 a)는 설정각의 값을 30°로 한 경우이며 그림 b)는 35°로 가정한 경우이다. 설정각을 30°로 하였을 경우가 35°로 설정했을 때보다 모울드보드 날개의 길이가 긴 것을 알 수 있었다. 橢圓柱形 모울드보드와 半螺旋形 모울드보드에도 같은 방법을 적용하여 결과를 알아보았다. 마찬가지로 설정각이 45°인 경우가 35°일 때보다 모울드보드 날개의 길이가 짧은 것을 볼 수 있었다.

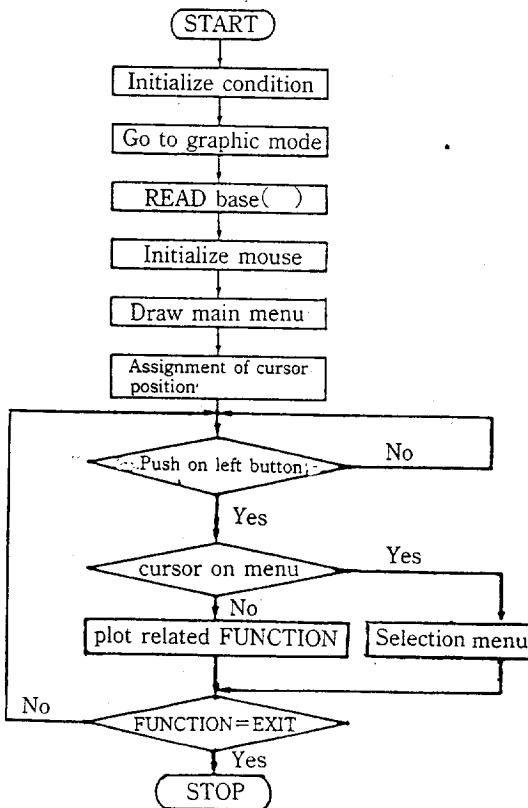


Fig. 6 Flow chart of main program.

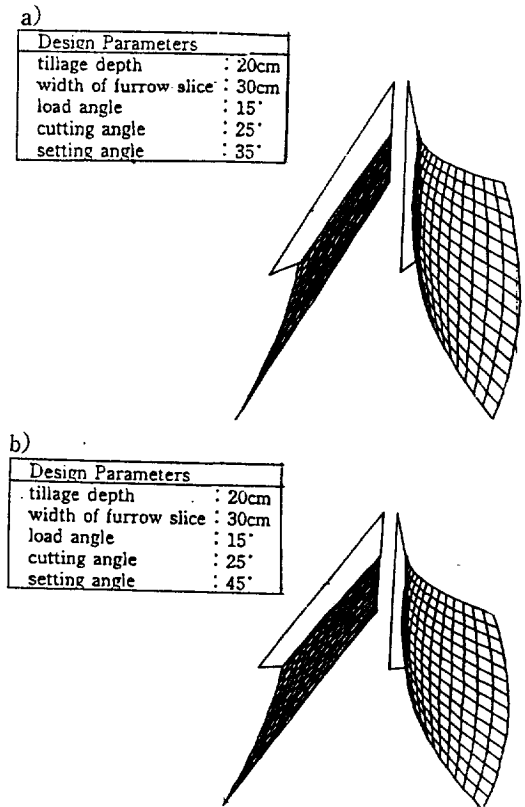


Fig. 7 Cylindrical moldboards presented by three-dimensional graphics with varied setting angles.

## 5. CAD 기법의 쟁기 설계 응용

### 5-1. 기본 설계 조건

일반적으로 모듈드보드 플라우는 토양 작용면의 구조가, 쟁기에 비하여 역토의 형태나 반전에 효과가 좋으며 비저항이 작은 것으로 알려져 있다.

그러나, 반전형 플라우를 추가로 장착하는 형태가 아니면 쟁기와 같이 兩用으로 사용할 수는 없다. 따라서 본 연구에서는 컴퓨터에 의한 3차원 그래픽 기술을 적용하여 기존 쟁기의 兩用성을 그대로 살리면서 모듈드보드 플라우의 장점을 채택할 수 있는 다음과 같은 새로운 쟁기의 작용면을 찾아내고자 하였다.

- ① 쟁기의 작업폭을 기존 쟁기의 폭보다 크게 한다.
- ② 쟁기의 한 설치 위치에서, 보습의 역저를 자르는 면과 역벽을 자르는 면은 직각이 되어 각기 절단면이 직각이 되게 한다.
- ③ 쟁기의 또 다른 설치 위치에서도 ②의 조건을 만족한다.

이와 같은 접근 방법은 기존의 플라우의 설계 이론을 兩用 쟁기의 설계에 이용할 수 있게 해줄 뿐만 아니라, 이미 앞에서 제시된 컴퓨터의 3차원 도시법을 효과적으로 적용할 수 있게 될 것이다.

### 5-2. 개량 쟁기 곡면의 설계

위에서 설정된 기본 설계 조건을 찾아내기 위하여, 그림 8에 나타낸 바와 같이 수학적 모델링을 통하여 직각 3면도에 나타난 모듈드보드 플라우로부터 보습과 모듈드보드 曲面 일부가 포함되는 삼각형 형상을 절단하였다. 절단된 형상의 모듈드보드 플라우는 그림 8에서와 같이 보습의 선단 끝으로부터 측면날의 높이가  $h$ 인 점을 직선으로 연결한 부분까지 포함한다. 정면도가  $X-Z$ 면, 평면도가  $X-Y$ 면이 되도록 하였으며, 정면도와 평면도에 상응하는 공통 좌표값을 이용하여 16개의 3차원 좌표를 찾아내었다. 얻어진 자료를 이용하여 절단된 모듈드보드 플라

우의 형상을 나타내는 경계값과 曲面 내부의 점들을 등고선에 따라 일정하게 선정하여 'x' 표로 나타내었다.

16개의 3차원 좌표값을  $Y$ 축에 대칭이 되도록 투영하여 똑같은 형상의 새로운 모듈드보드 플라우를 얻었다. 즉, 새로 얻어진 모듈드보드 플라우는  $Y, Z$ 축의 좌표값은 같으나,  $X$ 축으로는 똑같은 음의 좌표값을 갖는다.

위와 같이  $Y$ 축을 중심으로 2개의 절단된 모듈드보드 플라우를 좌, 우에 대칭되도록 배치하여 하나의 모듈드보드 플라우로 조합하였다.

$Y$ 축을 중심으로 조합된 2개의 삼각형 형태의 모듈드보드 플라우는 각기 한쪽 방향으로만 작업할 수 있도록 위로 볼록한 형태의 曲面을 가지므로 兩用으로 사용하기는 불가능하다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위하여 조합된 모듈드보드 플라우로부터 兩用으로 사용할 수 있는 曲面을 만들기 위하여, 음의  $Z$ 좌표값을 취하였다. 그림 9는, 이렇게 하여 얻어진 새로운 자료를 "B-스플라인 曲面 fitting"으로 재구성하여 나타낸 모듈드보드 플라우의 형태이다. 이 그림에서 3차원 쟁기 곡면을 보는 방향에 따라 투영되는 형상을 잘 관측할 수 있다. 이와같이 설계된 양용 쟁기 곡면은 적절한 격자형 벧의 설계가 이루어지면 개선된 쟁기 곡면으로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

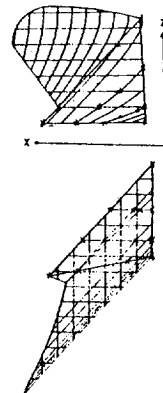


Fig. 8 Coordinate system of the selected points on the designed plow surface to be used for three-dimensional graphic presentation.

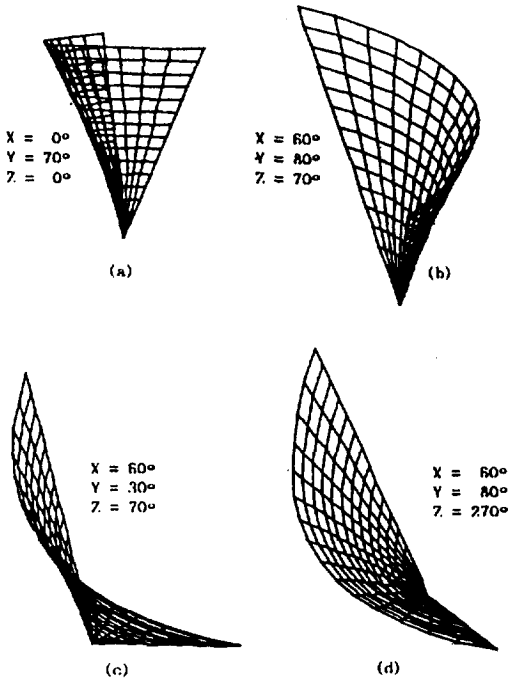


Fig. 9 Rotational views of the newly developed Jaenggi working surfaces.

본 연구에서는 컴퓨터 援用設計에 의한 모울드보드 플라우 曲面設計 프로그램을 開發하였다. 기존의 設計 方法을 정리·이용하여 모울드보드 플라우 曲面의 數學的 모델링을 행하였고, 그에 따라 2차원 평면상에 3각도법에 의해 圖面을 나타내었다. 그리고 그 도면 상에서 모울드보드 플라우 曲面을 가장 잘 정의할 수 있는 25개의 3차원 座標를 선택하여 “B-스플라인 曲面 fitting”으로 모울드보드 플라우 曲面의 3차원 형상을 재구성하였다. 이 3차원 모울드보드 플라우 曲面은 자유로이 移動, 回轉, 擴大, 縮小할 수 있도록 프로그래밍되었다. 모든 입력 방식은 마우스를 통한 Pull-down 메뉴 방식을 택하여 사용자에게 편리하도록 프로그래밍하였다. 또한 화면에 보이는 그대로를 플로터를 통하여 즉시 하드카피를 얻을 수 있도록 하였다.

본 프로그램은 모울드보드 플라우의 형상을 3각도법으로 작도함으로써 전체적인 형태 파악이 곤란했던 기존의 圖示方法에 비해 짧은 시간내

에 3차원의 형상을 입체적으로 파악할 수 있었다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

1) 모울드보드 플라우의 設計要因을 토대로 數學的 모델을 開發하였다.

2) 설계 요인의 변화에 따른 모울드보드 플라우 曲面을 3각도법에 의해 나타내었다.

3) 이와같이 얻은 자료를 바탕으로 모울드보드 플라우의 3차원 형상을 입체적으로 나타내었다.

4) 3차원 모울드보드 플라우의 자료를 재구성하고 플라우의 설계 이론을 적용하여 개량형 兩用 쟁기의 곡면을 설계하였다.

### 參 考 文 獻

1. 김기대. 1986. 트랙터로터리경운부의 設計理論研究とCADへの應用.
2. 한명범. 1987. 쟁기의 기하학적 특성과 소요 견인력에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
3. 박진식. 1991. 컴퓨터 원용 설계에 의한 모울드보드 플라우 곡면설계. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
4. Bosoi, E.S., O.V. Verniaev, I.I. Smirnov, E.G. Sultan-Shakh. 1988. Theory, Construction and Calculations of AGRICULTURAL MACHINES. A.A. BALKEMA.
5. Daniel L. Ryan. 1979. Computer-aided graphics and Design. Dekker.
6. David F. Rogers. and J. Alan Adams. 1990. Mathematical Elements for Computer Graphics, second edition. McGraw-Hill.
7. Du jia-yao. 1990. Rational method and some rationales for tillage tools design.
8. Ernest C. Carlson. 1960. Plows and Computers. ASAE Tech. Paper
9. Gunkel. W.W. and W.T. Emmet. 1983. A computer-aided analysis of the performance of coated moldboard-plow surface. ASAE

Tech. Paper

10. Gyachev, L. V. 1986. Theory of Surfaces of Plow Bottoms. A.A. BALKEMA.
11. Kanafojski, Cz and T. Karwowski. 1976. Agricultural Machines, Theory and Construction. Warsaw Vol.1
12. Richey. S. B., A. K. Srivastava and L. J. Se-gerlind. 1984. Computer-Aided Design of moldboard Plow Surfaces. ASAE Tech. Pa-per
13. Roy E. Myers. 1982. Microcomputer Gra-phics. Addison Wesley.
14. Soehne. W. and R. Moller. 1962. The design of moldboards with particular reference to high-speed ploughing.