

신발소재 재단용 채산 소프트웨어 개발

류영근* · 김행렬*

Abstract

This paper is to describe the development of nesting software for the materials cutting plan of footwear manufacturing processes. In shoes cutting process, almost of the materials cutting plan is dependent upon worker's experience. Thus, the pattern nesting by worker's experience for materials cutting is different from the real cutting results and also different from the error size of yield in degree of worker's skill. Recently, a few of domestic shoes' makers make use of overseas nesting software. But the nesting software unfits for the domestic actual circumstances, and is complex to use, and is expensive, and is not to be interfaced with the auto cutting machine. Therefore, we have developed the economic nesting systems that are easier for novice to use and fit for the domestic circumstances, which can synchronize with the development of the auto cutting machine.

The system comprises interrelated modules for materials information, nesting simulation, utility. The architecture of system, the functions of each module, and the information processing procedures of each function are discussed.

I. 서론

현재 대부분 신발제조업체의 소재 재단공정은 신발부위의 조각형태와 같은 칼형을 소재에 대고 유압식 재단기로 수직으로 압력을 가하여 재단하는 방식의 수작업에 의존하고 있으며, 재단을 위한 소재의 채산(소요량산출) 또한 전적으로 작업자의 경험적인 눈 매김에 의존하고 있다(류영근, 김행렬 외, 1994). 따라서 경험에 의한 채산은 실제 재단 결과와 차이가 많으며, 수율 오차폭 또한 작업자의 숙련도에

* 안동전문대학교

** 한국신발연구소

따라 차이가 크다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 국내 일부 기업에서는 외국산 유압식 CNC(Computer Numerical Control) 재단기와 네스팅(Nesting)소프트웨어를 도입하여 공정에 투입시켜 사용하고 있으나 비교적 고가이며, 설비의 유지 보수에 애로 점이 많고, 전용 컨트롤러의 현장 프로그램성이 뒤떨어지는 등 국내실정에는 적합하지 않은 것으로 밝혀졌다(김행렬, 김성욱 외, 1995, 김행렬, 정두수 외, 1995). 그리고 재단 소재에 대해 수율을 고려하여 재단 칼을 배치시키는 채산 작업에 사용되는 배열(Nesting) 소프트웨어는, 비교적 고가로 재단기와는 별도의 선택 사양으로 판매되고 있으며, 사용 용어가 한글화되어 있지 않고, 기능이 복잡하여 조작 방법 및 기능 숙지에 전문 인력이 소요되는 등 문제점들이 많다. 따라서 본 연구의 목적은 저가의 국산 자동 재단기의 개발과 연계될 수 있고, 한글화되고 조작 방법이 단순하며 기능 숙지가 쉬운 신발 소재 채산 작업의 자동 배열 소프트웨어를 개발하는데 있다. 본 연구에서 개발된 시스템은 소재의 방향성 및 재단(Cutting)수량을 고려한 배열 기능과 최대수율을 고려한 채산 기능을 지원하는 배열 소프트웨어로 자재정보, 네스팅 시뮬레이션, 유틸리티 등의 관련 모듈로 구성되어 있다. 시스템의 구조와 각 모듈의 기능들, 그리고 각 기능에 있어서의 정보처리 절차에 대하여 논의된다.

II. 본 론

1. 채산 및 형태배열(Pattern Nesting) 법의 설계

신발 재단 공정에 사용하고 있는 채산 방법에는 여러 가지가 있는데 그 중에서 피혁(또는 기타 소재)에 흠이 없다고 가정한 상태에서 피혁 모형의 표준 모델을 정하여 지형(Paper Pattern)을 세트(Set)별로 영입하는 원형채산법, 소재 모양을 사각형으로 가정하여 부품별로 지형의 높이와 폭을 산정하여 사각형안에 몇 개가 들어가는가를 계산하는 사각채산법, 부품별 지형의 기준점을 설정하여 일정한 방향으로 일정 수의 모형을 그리고 기준점을 기준으로 지형1개 또는 2개의 모양을 완전히 포함하는 평행사변형을 만들어 면적을 계산하는 파렐로우 그램(Parallelo Gram)법이 가장 많이 활용되고 있다(한국신발연구소, 1992). 본 연구에서는 재단기의 특징이 주로 규격화된 소재를 사용하기 때문에 배열 소요 시간이 타 방법에 비해 짧고 재

료 규격에 따라 영향을 적게 받는 사각채산법을 기준으로 프로그램을 개발하였다. 패턴(Pattern) 입력(Digitizing)방법은 일반적인 방법을 사용하되 각 부품별 식별 가능한 코드를 부여하도록 하여 배열시 부품 선별이 용이하도록 하였고, 패턴 데이터(Data) 형식(Format)은 DXF 또는 IGES파일 형식(Format)인 SNF(Shoe Nesting Format)으로 변환되도록 하였다. 각 엔티티(Entity)는 직선, 원, 원호를 이용하는 타 시스템과는 달리 완전 자유 폐곡선 형태의 폴리 라인(Poly line)을 스플라인(Spline) 처리하였고 방향성이 있는 소재를 감안하여 패턴 배열시 회전 각도를 제한할 수 있게 하였으며, 소재 두께에 따라 상이해 질 수 있는 패턴간 간격을 임의로 조정 가능하도록 함으로써 겹침 재단 시 재단 칼의 두께로 인해 패턴이 손상되는 것을 방지하도록 하였을 뿐만 아니라 소재의 실제 규격과 패턴의 실제 치수를 기준으로 배열 시뮬레이션(Nesting Simulation)과정을 거치기 때문에 계산상의 오차는 최소화되도록 하였다.

배열은 재단 형상이 대부분 규칙성을 가진 배열임을 감안하여 최초에 입력된 기준 패턴에 대해 차기 배열 대상 패턴을 이동, 회전시킴과 동시에 앞 패턴과의 겹침을 점검해 내는 방법으로 진행 되도록 하였다.

(1) 사각채산 알고리즘 설계

사각채산은 소재 절단에 사용될 피혁이나 원단을 주어진 길이와 폭으로 계산된 사각형으로 배치하고 부품별로 지형의 높이와 폭을 산정하여 사각형 내부에 최대의 효율을 갖는 최적화 배열을 수행하여 생산할 수 있는 부품의 개수를 계산하는 작업이다(한국신발연구소, 1992). 사각채산법은 채산 소요량을 산출하는 일반적인 방법이며 시스템을 이용한 시뮬레이션을 처리하기 위해서는 네스팅프로그램의 자동네스팅 알고리즘과 채산 소요량을 산출하기 위한 사각채산 생성 알고리즘이 결합된 형태로 구성된다. 소재 절단을 위한 고려사항중 가장 중요한 재단 방향은 자재의 특성중 자재의 무늬결에 따라 결정되어 진다. 재단 방향의 결정은 네스팅 작업전에 이루어져야 하며, 사각채산 알고리즘에 반영되어 네스팅이 수행된다. 재단 방향의 종류는 일정한 방향으로만 재단하는 정재단, 45°의 사선 방향으로만 재단하는 사선 재단과 모든 방향으로 재단 가능한 자유 재단 방법이 있으며, 대부분 부품은 정재단을 사용한다. 사각채산 알고리즘은 다음과 같다.

```

Algorithm 사각채산
/* P : Pattern (부품)
   R(0,0) : 기준점, 원점, Relative axis
   Z : Zone area
   n : 1 족에 소요되는 pattern 개수
   S : Rectangle area(S=Z*n)
*/
Declare Gap, Length, Width, Units
Set based point loaction R(0,0)
Loacte P1, P2, P3
Compute Z(P1, P2, P3)
n = pairs(P)
  case
rotate  $0^\circ \leq \theta_i \leq 360^\circ$ 
compute Si
  end /* case */
  Minimum(Si)
end /* 사각채산 */

```

(2) 스플라인 곡선(Spline Curve) 설계

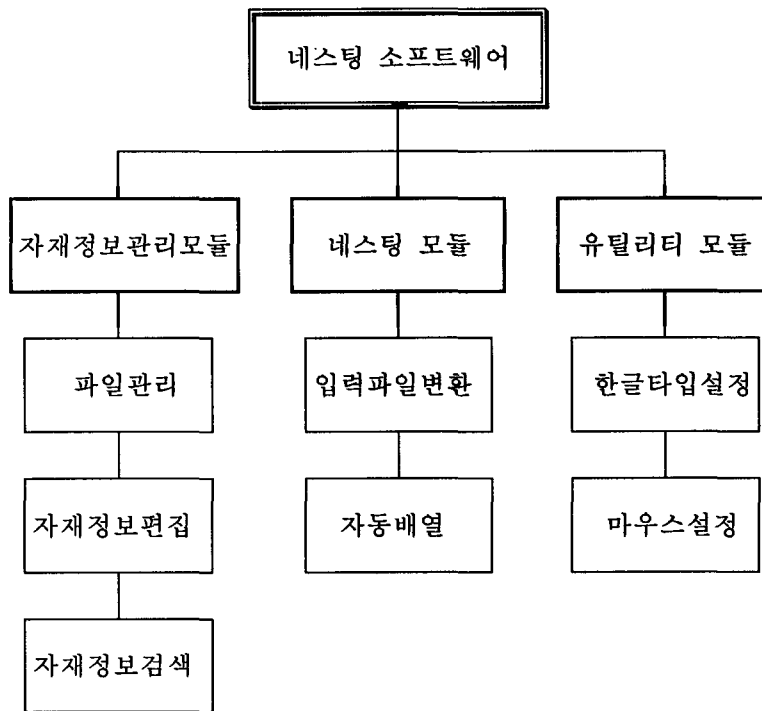
네스팅 시뮬레이션의 과정은 실제 화면에 입력 패턴의 형상이 그려지고 내부적으로 면적과 위치 계산이 구해져 배열해 가는 과정을 화면을 통해 관찰하게 된다. 패턴의 형상은 자재의 크기가 반영된 네스팅 영역을 설정하고 상대좌표계가 구성되어 자재 크기와 실제 패턴 크기의 비율(Ratio)이 적용되어 그려지게 된다. 실제 패턴의 제어 점들은 비율이 반영되어 스케일링되고 정점(Vertex)의 특성에 따라 화면에 표현된다. 정점의 특성은 스플라인과 다각형(Polygon)으로 이루어 졌고 폐곡선(Closed curves)의 성격이 내포되어 있다(Olfe, 1995). 신발의 모든 패턴(Pattern)은 폐곡선 형태이며 직선은 스플라인(Spline)의 정점 정형화로 구현되어 진다. 스플라인(Spline)은 비-스플라인(B-spline) 계열이며, 정형/비정형(Uniform/Nonuniform), 정사각/입체(Quadratic/Cubic)의 성격으로 분류된다(Anand, 1993). 개발 시스템에서

는 정점의 표면(surface)특성을 표현할 수 있는 입체계열과 늘 벡터(Knot vector)를 정규화(Normalized)시킬 수 있는 정형계열의 특성이 결합된 정형 입체 비 스플라인(Uniform Cubic B-spline)곡선을 사용한다. 정형 입체 비-스플라인(Uniform Cubic B-spline)의 블렌딩(Blending) 함수(function)식은 다음과 같다(Anand, 1993).

$$\begin{aligned} N_{0,3}(t) &= \frac{1}{6} t^3 & , [0 \leq t \leq 1] \\ N_{1,3}(t) &= \frac{1}{6} (-3t^3 + 3t^2 + 3t + 1) \\ N_{2,3}(t) &= \frac{1}{6} (3t^3 - 6t^2 + 4) \\ N_{3,3}(t) &= \frac{1}{6} (-t^3 + 3t^2 - 3t + 1) \end{aligned}$$

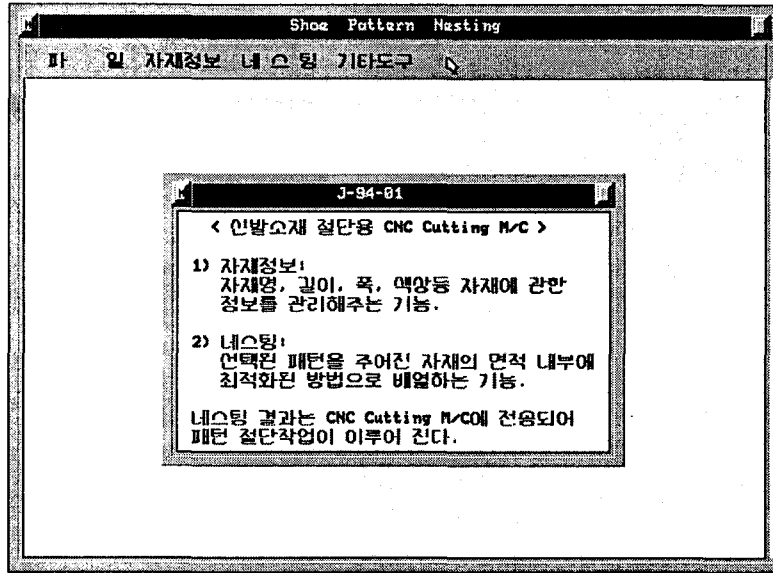
2. 시스템의 구성

패턴 네스팅 소프트웨어는 정형, 비정형의 형상으로 만들어진 2차원의 도형을 주어진 영역 내부에 여러 가지 설정 조건에 따라 반복 배열을 수행시키는 프로그램이다(Adamowics, Albano, 1976). 일반적인 네스팅 소프트웨어는 세 가지의 기능을 중심으로 구성되어 있는데, 각 기능은 형상 입력모듈, 네스팅 알고리즘, 기계 인터페이스 (Machine Interface) 모듈로 이루어져 있다(Albano, 1977). 특히, 배열알고리즘은 자동 방식과 대화형 방식으로 구현할 수 있고, 알고리즘의 기술 정도에 따라 전반적인 성능에 큰 영향을 미치게 된다. 또한, 네스팅 알고리즘 응용을 통해 개발된 상용화 제품들은 제조 업체를 근간으로 2차산업에서 3차산업에 이르기까지 다양한 업종에 활용되고 있으며(Ismail, Hon, 1992), 그 중에서도 신발, 피혁, 섬유, 기계, 공학, 디자인 등의 국내기술이 취약한 분야에서 적극 수용되고 있다. 본 연구에서의 네스팅 소프트웨어는 국내 기술력의 배양과 외국 상용화 제품에 대한 경쟁력 확보에 큰 의미를 두어 기존 상용화 제품의 분석 결과와 산업 현장의 실무 경험자들의 산지식 (Know-How)을 수용하여 현실성 있는 시스템으로 개발되었으며, <그림 1>과 같이 자재정보관리, 네스팅 시뮬레이션, 유틸리티(Utility)의 3가지 모듈로 구성되어 있다.



< 그림 1 > 네스팅 소프트웨어 모듈 구성도

자재 정보 모듈은 자재 정보의 입력, 편집 기능으로 구성되어 있으며, 자재 데이터의 관리, 빠른 검색도구, 네스팅에 필요한 자재 정보들을 전송시키는 역할을 수행한다. 네스팅 시뮬레이션 모듈은 자재 정보와 네스팅 조건 정보를 입력받아 자동네스팅 알고리즘에 의해 최적화된 배열을 수행하여 생성될 부품의 개수와 사용 면적에 대한 효율을 계산해 낸다. 유틸리티 모듈은 시스템의 환경 설정과 프로그램을 사용할 때 유용한 도구들로 구성되어 있다. < 그림 2 >는 네스팅 프로그램 실행 화면이다.

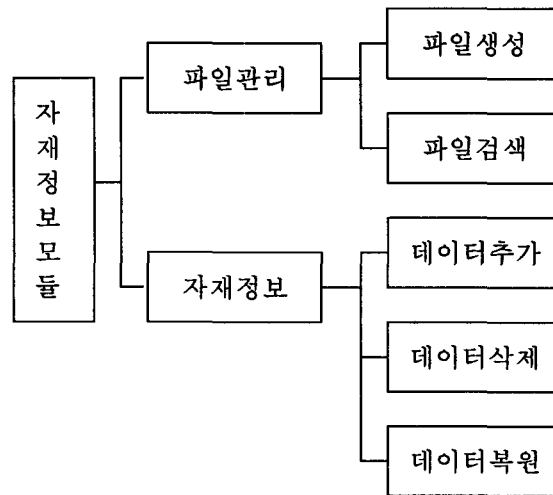


< 그림 2 > 네스팅 프로그램 실행화면

3. 자재정보관리 모듈

신발의 자재는 종류와 형태에 따라 다양한 분류 형태와 취급방법 때문에 별도의 자재관리 시스템이 필요하다(류영근,김행렬 외, 1993). 본 개발 시스템에서는 자재의 현황과 재고관리의 수준을 벗어나 네스팅 수행에 필요한 자재 정보에 국한하여 부품 위주의 자재정보 관리 모듈을 구성하였다.

이 모듈에서 자재의 구분은 자재 분류의 기준과 자재 특성에 따라 만들어진 자재 코드를 사용하게 된다. 현장에서는 자재 이름을 사용하여 작업에 필요한 자재를 인식하는 수단으로 사용하지만 본 모듈에서는 하나의 자재 이름에 따라 색상, 크기, 두께, 무늬방향등 다양한 자재 특성이 적용되어 세분화된다. 현장 실무자는 자재 이름으로도 오랜 경험에 의해 작업 공정과 부품에 맞는 자재를 선택할 수 있지만 시스템을 이용한 자재관리 측면에서는 정확하게 구분된 이름이 필요하다. 그래서 세분화된 자재 이름의 종류들을 코드화하여 자재 데이터의 입력과 검색 등을 수행할 수 있게 하였다. 자재정보관리 모듈 상세도는 < 그림 3 >과 같다.



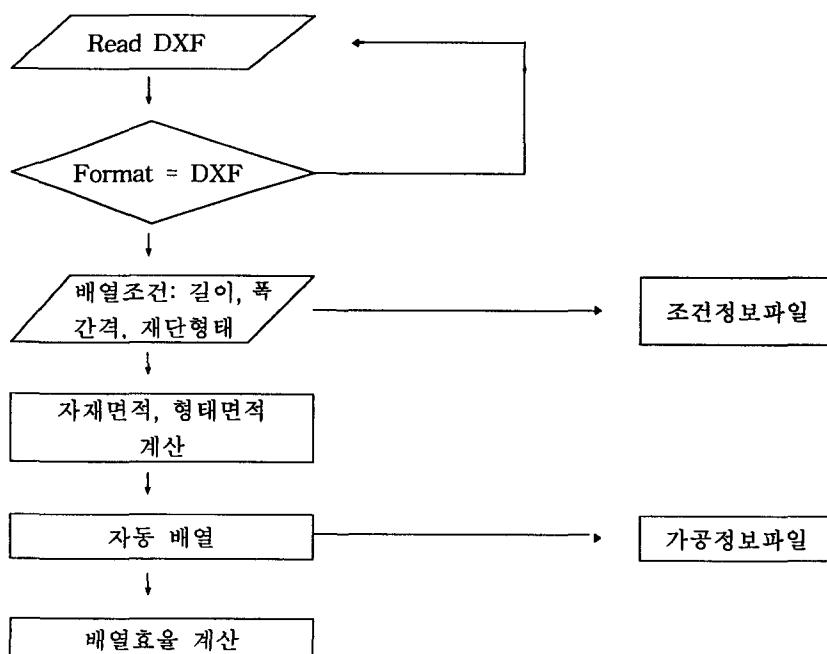
< 그림 3 > 자재정보관리 모듈 상세도

4. 네스팅 모듈

네스팅 기술은 한정된 영역 내에 입력된 패턴을 최대한 많이 배열시키기 위한 방법을 모색하며, 패턴 면적과 주어진 영역의 잔여 면적을 반복 계산하는 기능과 이동 경로, 형상의 회전(Rotation), 이동(Translation), 반사(Reflection), 확대/축소 (Scale Up/Down) 기능 등이 복합된 기술을 일컫는다(Qu, Sander, 1987). 네스팅의 핵심 기술은 네스팅 알고리즘 기술로서 복합 기능들을 알고리즘의 절차에 따라 자동 계산하여 배열을 반복해 가는 방식의 자동네스팅 알고리즘과 사용자가 마치수작업을 통해 배열하듯이 메뉴 방식에 의해 각각의 기능을 한 동작씩 수행할 수 있는 대화형 네스팅 알고리즘으로 나눌 수 있다. 본 연구에서의 네스팅 모듈은 입력파일 변환 기능과 자동네스팅으로 구성되어 있다. 네스팅 작업이 수행되면 입력 패턴을 읽어 들여 파일변환 과정을 거친 후 네스팅 수행 조건을 사용자로부터 입력 받아 파일 형태로 저장하고 자동네스팅을 수행하게 된다. 각 기능별 세부 사항은 다음과 같다.

(1) 파일 변환 기능

파일 변환 기능은 입력 데이터를 개발 시스템에서 사용할 수 있는 형식으로 재구성하는 과정으로서 입력 파일의 특성을 제거하고 개발 시스템의 환경에 맞게 사용할 수 있도록 재계산 한다. 디지털라이저(Digitizer)나 스캐너(Scanner)와 같은 입력장치를 통해 입력된 부품의 형상 데이터를 PCX, DXF, IGES, BMP, DGT, IUA, DAT 등 아주 다양한 형식의 파일로 저장하는 것이다(Autodesk Inc, 1992). 각기 다양한 외부 입력 형식을 개발 시스템에서는 공용으로 인식할 수 없으므로 형상 데이터를 개발 시스템의 내부 형식으로 변환시켜 사용함으로써 어떤 외부 형식에도 의존하지 않는 호환성을 제공할 수 있게 된다. 특히, CNC 재단기와 연계되어 데이터의 성질상 수치적(Numerical) 특성이 중요하므로 벡터(Vector) 성분을 추출할 수 있는 DXF, IGES, DGT, IUA, DAT 등의 파일 형식을 모두 지원할 계획이다. 변환된 패턴 데이터는 내부 형식(SNF : Shoe Nest Format)을 갖게 되며 연결 리스트(Linked Lists) 구조를 이루어 자동네스팅 알고리즘에 사용된다. < 그림 4 >는 위에서 설명한 네스팅 작업 흐름도 이다.



< 그림 4 > 네스팅 작업 흐름도

(2) 자동 네스팅(Auto-Nesting) 알고리즘

자동 네스팅에서는 배열위치 계산기능, 경계검사기능이 가장 핵심이 되는 기능이다. 배열위치 계산 기능은 2차원 면적에서 패턴의 위상값에 따라 배열 면적의 차가 발생하므로 위치와 면적의 다중한 계산을 통해 최소 값을 갖는 위상을 찾게 된다. 패턴 배열의 첫 위치는 좌측 하단이 시작점으로 정의된다(Qu, Sander, 1987). 시작점 (x_0, y_0) 을 기준으로 패턴의 이동량 (dx, dy) 와 회전각 θ 에 따라 패턴이 차지하는 자재 면적을 반복 계산하게 되며 좌→우→상→좌 방향으로 한 주기(Cycle)를 이루면서 반복 배열이 수행된다. 배열 위치의 결정은 또한 현재 위치한 패턴과 다음에 배열될 패턴의 경계 검사를 실행하여 패턴의 최대, 최소 값에 의한 사각경계 내부에 포함될 수 있으므로 패턴과 패턴 사이의 최대 경계 값을 검출하여 다음 패턴의 배열 위치를 재조정하게 된다.

자동 네스팅은 위치 계산과 경계 검사를 수행하기 위해 패턴의 변형(Transformations)기능이 수반되어야 하며, 이동, 회전, 반사 기능들이 복합적으로 결합되어 자동 네스팅을 수행하게 된다. 이 기능들은 또한 대화형 네스팅을 수행하는 메뉴 방식에 부합되어 독립적으로 사용된다. 자동 네스팅의 수행 절차인 자동 네스팅 알고리즘은 다음과 같다.

```

Algorithm Auto-nesting
/* F : Frames, 원형들의 리스트
   EN : Entity format Number
   F' : 격자형상화된 리스트 */
read DXF or etc
while F ≠ null do
  /* convert SNF format */
  loop
    /* 입력형상을 entity별로 구분한다 */
    case
      EN == 112 : Spline
      EN == 124 : Transformation matrix
      EN == 102 : Composite curve
    end /* case */

```

```

        end /* loop */
        /* 원래형상을 격자화된 형상으로 변환 */
        F' = Make_shape(F)
    end /* while */
    compute Sheet_area
    compute Pattern_area
    while Pattern_area < 잔여 Sheet_area
        compute 사각채산 with F'
        /* 왼쪽하단부터 채산된 결과를 배치시킨다 */
        Setting(x,y,F')
        /* 경계검사를 통해 다음 배열위치 조정 */
        if Boundary_check(Fi-1,Fi)
            then x=x+dx, y=y+dy
        end /* while */
    compute 총 채산면적, 효율
end /* Auto-nesting */

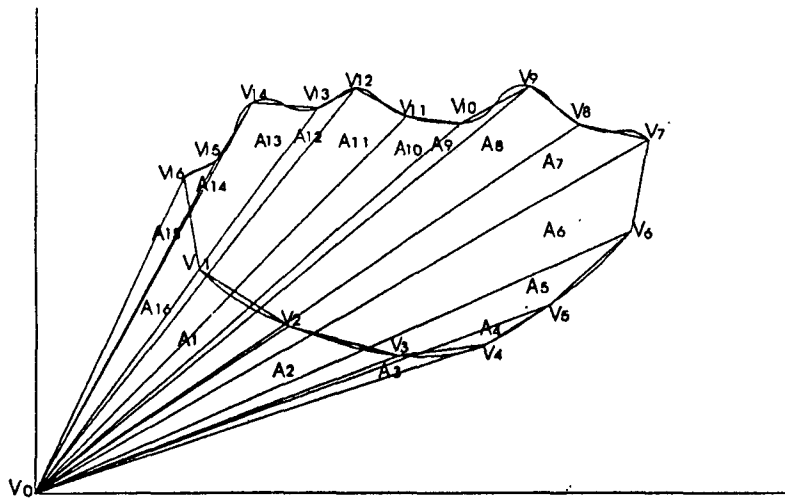
```

(3) 패턴 면적 산출

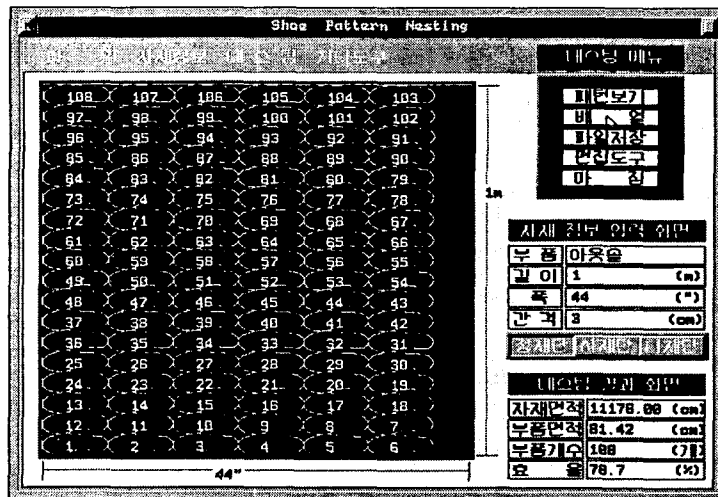
자재 면적과 부품의 패턴 면적은 네스팅의 효율과 신발의 채산성을 평가하는 요소로 사용된다. 여기서 자재 면적은 자재 정보에서 자재 길이와 폭의 값을 찾아서 구할 수 있고 패턴 면적은 입력된 DXF 파일을 변환시킨 SNF 파일에서 패턴 형상의 경계(Boundary) 위치를 찾아 최소 자승 법과 삼각측정법을 사용하여 면적을 계산할 수 있다. 최소자승법은 경계선 상의 제어점(Control points)들에서 최대값과 최소값을 구하여 사각 면적을 구하는 방법이며, 삼각측정법은 경계선 상의 제어점들을 시작점에서 끝점까지 벡터의 외적의 합(Sum of Cross product)을 구하여 면적을 구하는 방법이다. 패턴 형상을 결정하는 각 제어점들은 조밀한 간격을 이루고 있기 때문에 최소자승법에 의한 면적계산 보다는 외적의 합에 의한 계산 방법이 원형에 가까운 면적을 구하고 근소한 오차 때문에 개발 시스템에서는 외적의 합에 의한 계산 방법을 사용하였다.

$$\begin{aligned} \text{패턴면적} &= \sum_{i=0}^{n-2} A_i \\ &= \sum_{i=0}^{n-2} \frac{1}{2} (V_i - V_0)(V_{i+1} - V_0) \end{aligned}$$

패턴 면적의 분할은 <그림 5>과 같고, < 그림6 >은 자동 네스팅 실행 화면이다.



< 그림 5 > 패턴 면적의 분할

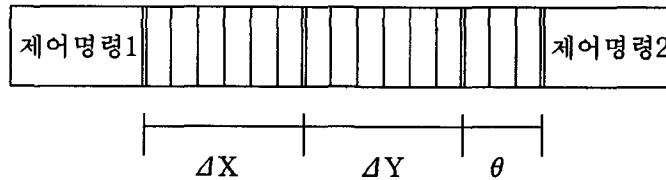


< 그림 6 > 자동네스팅 실행 화면

5. CNC 재단기와의 인터페이스

네스팅 작업이 완료되면 그 결과는 기구부의 제어 프로그램으로 전송되어 CNC 재단기에 의해 실제로 패턴을 재단하게 된다. 네스팅 작업의 결과는 바로 CNC 재단기가 인식할 수 있는 기초 가공 정보의 형태이며, 제어프로그램에 의해 작업환경에 관한 파라미터들과 목표량, 중첩량 등이 추가되어 완전한 가공 데이터가 생성된다. 가공 정보의 기초가 되는 네스팅 결과는 전용 파일(EXT format) 형태로 저장되며 네스팅 알고리즘 수행시에 배열경로중 한 주기정보 즉 (dx , dy , θ)로 구성된 사이클을 구하고 기본 제어 명령을 결합하여 저장한다. 최종 가공 정보 파일은 실시간 CNC 재단기에 입력되어 네스팅 시뮬레이션 결과와 같이 동일하게 패턴 재단이 수행된다.

CNC 제어 프로그램에 전송될 가공 정보(EXT file)파일의 형식은 < 그림 7 > 과 같다.



< 그림 7 > 가공정보형식 (EXT format)

III. 결 론

본 논문은 신발제작과정 중 가장 선행되는 재단 공정에 있어 재단할 소재의 방향성과 재단 수량을 고려한 최적 배열(Nesting) 알고리즘의 설계와 최대 수율을 고려한 채산 기능을 지원하는 네스팅 소프트웨어의 개발에 관한 것이다. 본 연구에서는 국내 기술력의 배양과 외국 상용화 제품에 대한 경쟁력 확보에 주안점을 두고 개발하였으며, 기존 상용화 제품의 분석 결과와 산업 현장의 실무 경험자들의 산지식을 수용하여 국내 실정에 적합하도록 한글화, 단순화 시켰다. 또한 경제적인 시스템이 되도록 CNC 재단기(Cutting machine)의 개발과의 연계성을 고려하였고, 패턴 및

Piece관리 모듈을 개발하여 각 부품 형태별 재단값의 칼형 관리와 각 공정별 피스(Piece) 및 소재 관리가 가능하도록 하였다.

본 연구에서 개발된 채산(네스팅)소프트웨어의 특징은 패턴이 자유 곡선으로 이루어진 비 정형화된 형상임에도 불구하고 대체적으로 신발을 구성하는 발의 앞쪽(Toe)부분, 측면 보강 부분, 뒤꿈치(Back counter)부분, 구목부분, 밑창(Sole)부분의 5가지 범주에 속하게 됨으로 각 범주에 속하는 부품들의 형상 특징을 도출하여 배열시 고려함으로써 네스팅 소프트웨어에서 관건이 되는 처리 시간 단축과 배열의 효율성을 높이도록 한 것이다. 본 연구 결과는 기업의 재단 생산성 향상과 재료비 절감, 숙련 작업자의 구인난 해소 및 인건비 절감, 작업환경의 개선 및 품질 향상 등에 기여할 수 있으며, 또한 개발 소프트웨어에 피스(Piece)관리 기능이 포함되어 있어 추후 정확한 소요량 파악과 예측 기능을 보강한다면 원가관리, 수주관리 등을 포함하는 종합적 생산관리 시스템으로의 발전이 가능하리라 사료된다. 본 소프트웨어의 도입은 수입 대체효과를 거둘 수 있으며 나아가 신발산업의 대외 경쟁력 강화에 일익을 담당할 것으로 확신한다.

참 고 문 헌

류영근, 김행렬 외, 신발 생산 공정 표준화 기술개발에 관한 연구, 최종보고서, 상공자원부, 1994.

김행렬, 김성욱 외, CAD/CAM을 이용한 신발금형 설계기술 개발, 최종보고서, 통상산업부, 1994.

김행렬, 정두수 외, 신발소재 절단용 CNC Cutting M/C 기술개발에 관한 연구, 최종보고서, 통상산업부, 1995.

한국신발연구소, 신발의 채산 및 소요량 산출법, 1992.

류영근, 김행렬 외, 차세대 신발생산라인 자동화기술 개발에 관한 연구, 최종보고서, 상공자원부, 1993.

D. B. Olfe, *Computer Graphics for Design from Algorithm to Auto CAD*, Prentice Hall, 1995.

V. B. Anand, *Computer Graphics and Geometric Modeling for Engineers*, John Wiley & Sons, Inc., 1993.

M. Adamowicz, A. Albano, "Nesting Two-dimensional Shapes in Rectangular Modules", *Computer Aided Design*, Vol. 8, No. 1, 1976, pp. 27-33, Jan.

A. Albano, "A method to improve two-dimensional layout", *Computer Aided Design*, Vol. 9, No. 1, 1977, pp. 48-52, Jan.

H. S. Ismail, K. K. B. Hon, "New approaches for the nesting of two-dimensional shapes for press tool design", *INT. J. PROD. RES.*, Vol. 30, No. 4, 1992, pp. 825-837.

W. Qu, J. L. Sanders, "A nesting algorithm for irregular parts and factors affecting trim losses", *INT. J. PROD. RES.*, Vol. 25, No. 3, 1987, pp. 381-397.

Auto Desk Inc, *Auto CAD R12 manual series*, 1992.

A. Albano, G. Sapuppo, "Optimal Allocation of Two-dimensional Irregular Shapes using Heuristic Search Methods", *IEEE Tr. on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. SMC-10, No. 5, 1980, pp. 242-248. May.

J. Chung, D. J. Hillman, "Object-oriented Nesting System on Two-dimensional Highly Irregular Resources", *Intelligent Robots and Computer Vision VIII: Systems and Applications*, SPIE Vol.11, No.3, pp. 54-63, 1989.