

본 연구는 효성중공업(주) 위탁과제 및 정밀정형 금형가공 연구센터의 지원하에 연구되었으며 이에 감사를 드립니다.

## 스테이터와 로터 및 불규칙한 박판제품의 블랭킹에 관한 공정설계 시스템

최재찬\* , 김병민\* , 김철\*\* , 김재훈\*\*

### An Automated Process Planning System for Blanking of Stator and Rotor Parts and Irregularly-Shaped Sheet Metal Products

J.C. Choi\* , B.M. Kim\* , C. Kim\*\* and J.H. Kim\*\*

#### ABSTRACT

This paper describes some research works of computer-aided design of blanking and piercing for stator and rotor parts and irregularly shaped sheet metal by press. An approach to the system is based on knowledge based rules. The process planning system by considering a blank layout for nesting of irregularly shaped sheet metal and an improved strip layout for stator and rotor parts and irregularly shaped sheet metal is implemented. Using this system, design parameters(utilization ratio, slitting width, pitch, working order, die blank shapes) are determined and output is generated in graphic forms. Knowledges for blank layout and strip layout are extracted from the plasticity theories, handbooks, relevant references and empirical know-hows of experts in blanking companies. The implemented system provides powerful capabilities for process planning of stator and rotor parts and irregularly shaped sheet metal.

**Key Words:** blank layout(블랭크 레이아웃), strip layout(스트립 레이아웃), utilization ratio(재료 이용률), working order(작업순서), die blank shapes(다이 블랭크 형상)

#### 1. 서론

산업기계의 주요한 많은 부품들이 블랭킹 또는 피어싱으로 가공되어진다. 그런데 지금까지 블랭킹 가공의 공정 및 금형설계는 대부분 숙련된 기술자의 경험과 직관적 판단에 의해 수행되고 있다. 최근에는 숙련된 기술자의 경

험을 정식화시켜 컴퓨터를 이용한 블랭킹 가공 공정과 금형설계를 자동화하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 1971년에 Shaffer<sup>(1)</sup>가 Progressive Die Design by Computer(PDDC)system을 개발했으며 뒤에 Fogg와 Jaimeson<sup>(2)</sup>은 다이 설계에 영향을 미치는 여러 가지 요소들을 고려하여 더 개선된 PDDC system을 개발했다.

\* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구센터  
 \*\* 부산대학교 기계설계공학과 대학원

Shibata 와 Kunitomo<sup>(3)</sup>는 블랭크와 다이 레이아웃의 화면 출력을 목적으로 하는 CAD/CAM 시스템을 개발하였고 Nakahara<sup>(4)</sup>등은 프로그레시브 다이 설계를 위한 시스템을 도입하였다. 또한 본 논문의 전편<sup>(5)</sup>에서는 스테이터(Stator)와 로터(Rotor)의 블랭킹에 관한 공정설계 및 금형설계 시스템에 관하여 연구하였다.

본 연구에서는 불규칙한 형상을 가진 박판제품을 단열 배열로 블랭킹 했을 때 최적의 블랭크 레이아웃을 창출하는 프로그램을 개발했고 스테이터와 로터의 경우에는 단

열 및 이열 배열로 확장시켜서 최적의 블랭크 레이아웃을 창출하였다. 또한 스테이터와 로터 및 불규칙한 형상에 대한 스트립 레이아웃이 다이 블랭크를 고려한 개선된 방식에 따라 자동적으로 수행되는 프로그램을 개발하고자 하였다.

## 2. 시스템의 구성

본 연구에서는 스테이터와 로터 및 불규칙한 형상의 블

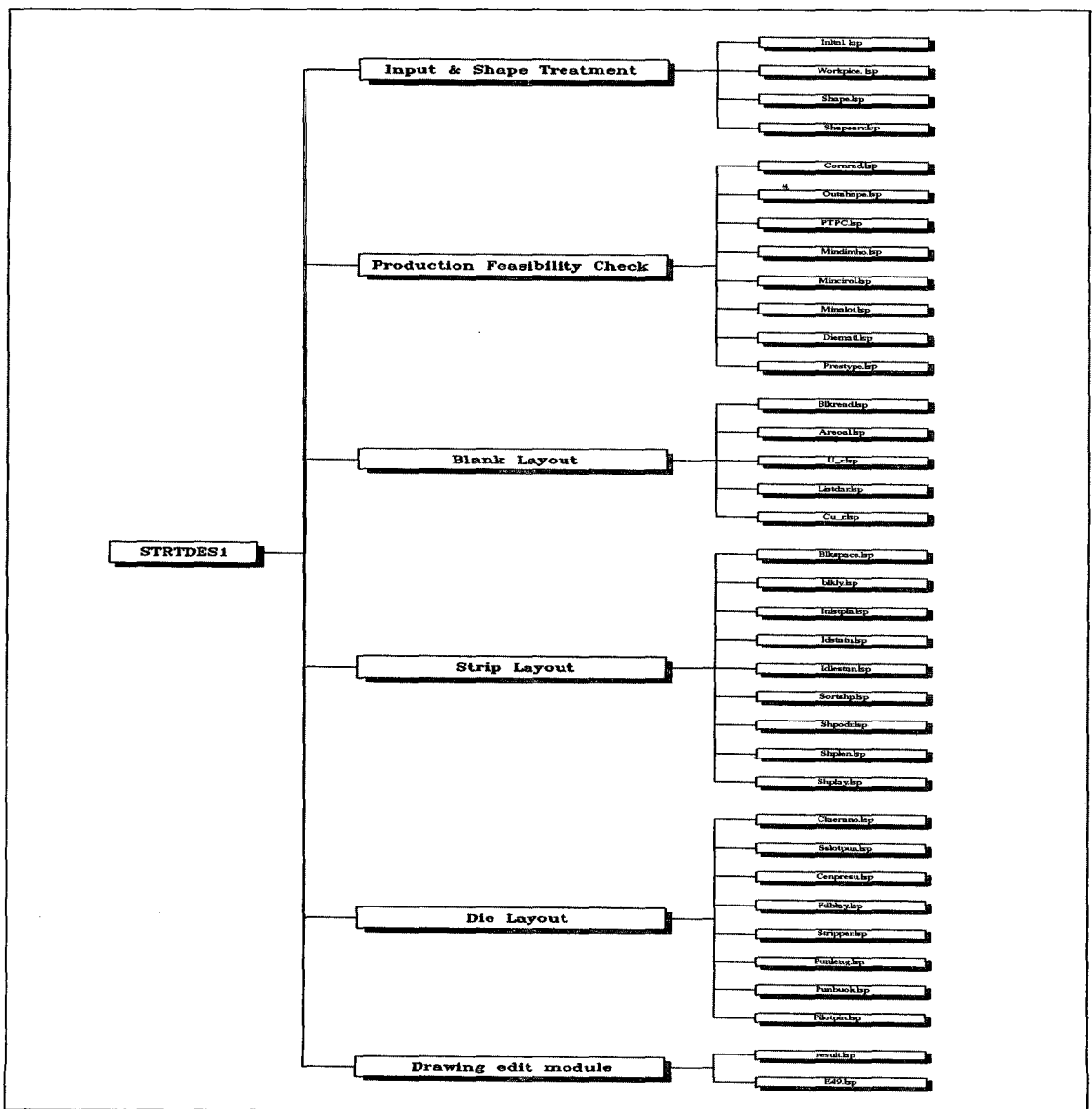


Fig. 1 System configuration

랭킹에 관한 공정설계를 자동화하기 위해서 "STRT-DES1"시스템을 개발하였다. 본 시스템은 입력 및 형상 처리 모듈, 가공가능성 검사 모듈, 블랭크 레이아웃 모듈, 스트립 레이아웃 모듈, 다이 레이아웃 모듈, 도면 편집 모듈로 나뉘어져 있다. 본 시스템은 하나의 환경에서 수행되며 각 모듈들이 규칙베이스와 데이터베이스를 공유하므로 수행 중 시스템을 중단하지 않고서 모든 과정을 수행할 수 있는 장점이 있다. 또한 시스템의 진행 방식은 선택의 다양성을 위하여 대화식을 이용하였으며 개발된 "STRTDES1"시스템의 구조는 Fig. 1과 같다.

2-1 입력 및 형상 처리 모듈<sup>(5)</sup>

(input and shape treatment module)

이 모듈은 입력 모듈과 형상처리 모듈로 구성되어 있다. 입력 모듈에서는 소재의 종류, 두께, 폭, 열처리 조건 등이 입력되어지면 소재의 기계적 성질에 관한 정보를 데이터 베이스로부터 자동적으로 읽어 들인다.

형상처리 모듈에서는 제품의 형상을 사용자가 Auto-CAD도면으로 직접 입력시키거나 혹은 도면화된 파일을 스크린 상에 나타냄으로써 제품의 형상이 처리된다. 입력된 형상을 프로그램에서 취급하기 위하여 형상 데이터는 수치형태로 변환되어 저장되어진다.

2-2 가공 가능성 검사 모듈<sup>(5)</sup>

(production feasibility check module)

가공 가능성 검사 모듈은 형상처리 모듈에서 얻은 블랭크의 정보를 가지고 제품으로서의 성형 가능성을 검사하는 모듈로서, 블랭크 윤곽이 블랭킹이나 피어싱으로 성형되어지는 것이 어렵거나 불가능한 기하학적 영역이 제시되어진다. 가공 가능성 검사시에 고려되어지는 요소들은 블랭킹 또는 피어싱될 두 내부 형상사이의 거리, 피어싱될 구멍의 직경, 제품의 코너 반경 및 필렛반경이다. 제품의 최외각 형상간의 여유폭은 소재의 두께에 따라 결정되며 이 여유폭을 이용하여 이송피치가 결정되어진다.

2-3 블랭크 레이아웃 모듈(blank layout module)

블랭크 레이아웃 모듈에서는 스트립의 압연 방향, 제품의 최외각 여유폭을 고려한 후 재료의 이용률<sup>(6)</sup>을 최대로 하기 위하여 블랭크들을 스트립에 배열하는 방법을 정하는 모듈이다. 불규칙한 형상<sup>(7)</sup>에 대해서는 단일 배열로 해서 최적의 블랭크 레이아웃을 구했으며 스테이터와 로터의 경우에는 이열 배열로 확장시켜서 최적의 블랭크 레이

아웃을 구했다. 이에 대한 알고리즘( algorithm)은 Fig. 2와 같다.

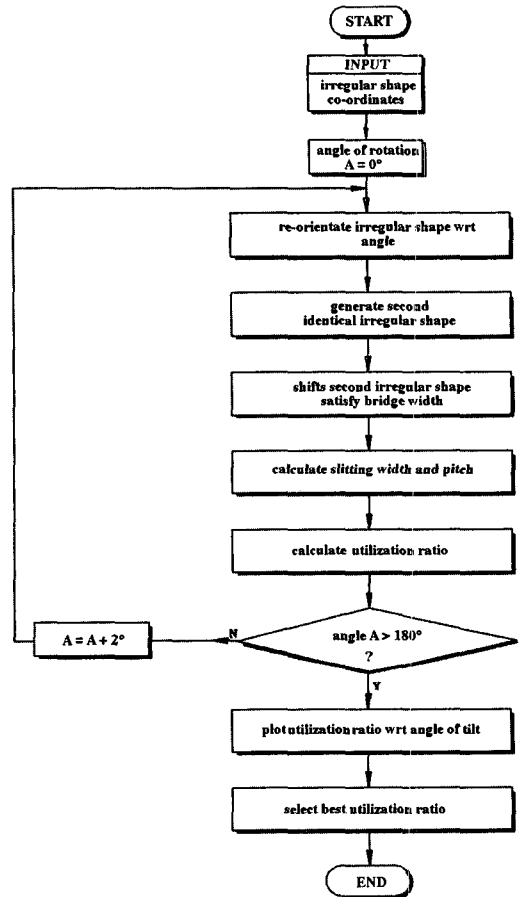


Fig. 2 Flow chart depicting single row blank layout solution

규칙1) 블랭크 레이아웃의 효율은 재료의 이용률( utilization ratio, UR)에 의하여 결정되어지며 이용률은 아래 식으로 결정한다.

$$UR = \frac{\text{블랭크의 면적}}{\text{블랭크를 만드는데 필요한 스톡 (stock)의 면적}}$$

규칙2) 블랭크 레이아웃을 할 때에 제품의 최외각 여유폭을 고려하고 피딩(feeding)방향을 입자 방향과 일치시킨다.

규칙3) 제품의 형상을 스트립의 피딩(feeding)방향으로 위치를 결정한 후에 시계 방향으로 2°씩 회전시켜 가

면서 최고의 UR을 가지는 위치를 찾은 후에 그 위치에서 피치(pitch), 슬리팅(slitting)폭을 정하고 그때의 위치를 블랭크 레이아웃의 배열 방향으로 정한다.

규칙4) 블랭크 내부에 있는 구멍 또는 임의의 형상들은 블랭크 레이아웃에 영향을 미치지 않기 때문에 무시한다

규칙5) 블랭크 레이아웃은 프레스의 용량을 고려한다.

규칙6) 제품의 최외각 여유 폭은 박판 소재의 두께에 의하여 결정된다.

규칙7) 단일 배열에 있어서 블랭크들은 프레스의 스트로크(stroke)에 따라서 개별적으로 생산되어지므로 모든 블랭크는 동일한 방향을 가져야 한다.

규칙8) 제품 형상의 난이도에 따라서 다이의 종류가 결정되어진다.

규칙9) 코일(coil) 스톡(stock)은 대량 생산에 쓰이고 스트레이터너(straightener), 리코일(recoiler), 디코일러(decoiler)와 같은 부속품이 필요하다.

#### 2-4 스트립 레이아웃 모듈<sup>(8-14)</sup> (strip layout module)

스트립 레이아웃 모듈은 가공가능성 검사 모듈에서 합격한 제품형상에 대하여 형상별 다이 블랭크를 고려하여 공정 순서를 정하는 모듈이다. 이 모듈에서는 박판두께, 블랭크의 정확도, 블랭크 형상의 복잡성과 같은 입력 요소들에 의하여 다이의 형태가 선택되어지고 각 공정간의 블랭킹 하중에 의해 발생하는 다이 면압에 견딜 수 있는 다이외경의 한계거리가 계산되어진다.

규칙10) 선택되어진 다이가 프로그레스브 다이이면 스트립 레이아웃이 연속적으로 수행되어지고 공정수, 슬리팅폭, 피치가 다이 레이아웃 모듈에 전달되고 선택되어진 다이가 복합(compound) 다이 혹은 단순(simple) 다이이면 블랭크 레이아웃 모듈로부터 기하학적인 정보가 다이 레이아웃 모듈에 전달된다.

규칙11) 파일롯트 구멍이 존재하면 처음 공정에서 피어싱한다.

규칙12) 제품의 내부 형상이 존재하면 내부 형상을 먼저 가공한다

규칙13) 불규칙한 제품의 블랭크 형상일 때는 블랭크 형상을 분석하고 현장에서 사용되는 절삭 가공 기술에 적합한 작은 형태로 나눈다.

규칙14) 파일롯트 구멍들을 확인하기 위하여 내부 형상을 분석하는데 이 구멍들 안에 서로 관련이 있는 형상이 존재할 때 펀치 장착이 가능하면 첫 번째 공정에서 가

공한다.

규칙15) 피어싱될 구멍들이 서로 근접해 있거나 기능적으로 관련이 없다면 이 구멍들을 여러 공정으로 분배한다.

규칙16) 피치 노치(notch)들이 존재할 경우에는 첫 번째 공정에서 피어싱 한다.

규칙17) 내부 형상의 가장자리와 다이 블럭의 가장자리 사이의 최소 거리가 다이 블럭 두께의 2배보다 작으면 다이블럭, 스트립퍼 플레이트, 펀치호출터를 강화하기 위하여 아이들(idle) 공정을 둔다

규칙18) 복잡한 펀치를 사용하는 것을 피하기 위하여 블랭크 형상을 간단한 형상으로 나눈다.

규칙19) 각 형상의 주변(perimeter)은 계산되어지고 길이가 작은 것부터 큰 순으로 번호를 매기고 이 번호순서가 공정 순서이다.

규칙20) 복잡한 제품으로부터 나누어진 각각의 형상을 가지고 블랭킹의 추력으로 인해 발생하는 면압을 견딜 수 있는 다이 블랭크의 크기를 결정된 후 다이 블랭크의 형상들을 만든다.

규칙21) 블랭크 레이아웃에서 구한 피치가 스트립 레이아웃을 위한 배열 피치에 쓰여진다.

규칙22) 최초의 다이 블랭크를 나열된 피치의 가장 좌측에 배열하고 공정 순서에 따라 그 다음 공정의 다이 블랭크를 최초의 다이 블랭크가 놓여진 피치에 놓을 때 겹쳐지지 않으면 그 피치에 배열하고 겹치면 다음 피치로 이동한다. 이와 같은 방법을 연속적으로 수행하여 공정을 완료한다.

#### 2-5 다이 레이아웃 모듈<sup>(5)</sup>(die layout module)

다이 레이아웃 모듈에서는 스트립 레이아웃 모듈에서 얻어진 플레이트 상의 공구배치 정보로써 설계규칙을 만족하는 다이블럭, 펀치, 스트립퍼가 설계되어진다. 또한 다이블럭은 스트립 레이아웃의 결과에 따라 자동적으로 분할되어진다. 이 모듈에 고려되는 설계변수들로는 다이와 펀치사이의 틈새로 인한 기하학적인 형상, 펀치의 좌굴 여부, 힘의 균형을 위한 하중의 중심점, 스트립 핏력에 의한 스프링의 수와 배열, 체결 보울트의 수와 배열, 녹 아웃 핀의 수와 배열 등이 있다.

### 3. 시스템의 적용 및 결과

본 연구에서는 전편에서 개발한 공정설계 시스템에 블

랭크 레이아웃 모듈의 첨가와 다이 블랭크를 고려한 개선된 스트립 레이아웃 모듈로 확장시키므로써 공정설계 시스템이 강화되어졌다. 강화되어진 공정설계 시스템에 불규칙한 형상 및 모터 코어(Motor core)용 스테이터 및 로터를 적용하여 보았다.

Fig. 3과 Fig. 4와 같은 불규칙한 형상의 샘플(sample)도면과 데이터, 스테이터와 로터의 실제도면과 데이터를 각각 입력하여 블랭크 레이아웃 모듈과 스트립 레이아웃 모듈에서 계산되어 출력된 결과들에 대하여 살펴보기로 한다.

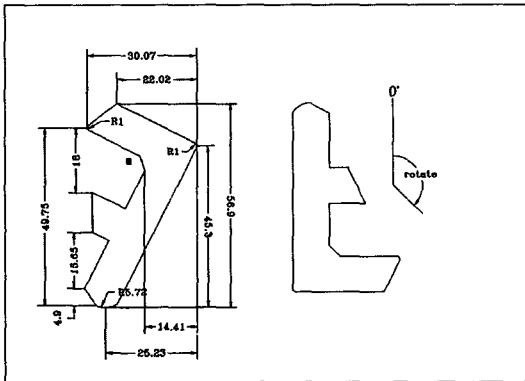


Fig. 3 Detailed drawing of a sample blank

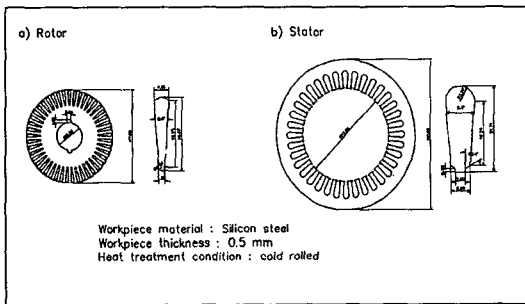


Fig. 4 Drawing of stator and rotor blank

### 3-1 블랭크 레이아웃

Fig. 5는 블랭크 레이아웃에서의 브릿지(bridge)폭, 슬리팅(slitting)폭, 피치의 정의를 나타내었고 Fig. 6은 불규칙한 형상의 박판제품을 Fig.3과 같이 고정시키고 시계방향으로 2°씩 회전시킬 때 UR의 변화를 나타낸 것으로 경사 각도(tilting angle)가 38°일때 UR의 값이 0.529로써 최대가 되어짐을 알 수 있다. Fig. 7은 스톡

(stock)의 구속이 없는 Fig.3의 불규칙한 형상의 샘플도면을 시스템에 입력시켜 블랭크 레이아웃 모듈에서 수행되어진 출력 결과를 나타낸 것으로 슬리팅 폭과 피치의 값이 각각 56.65mm, 25.5mm로 계산되어진다.

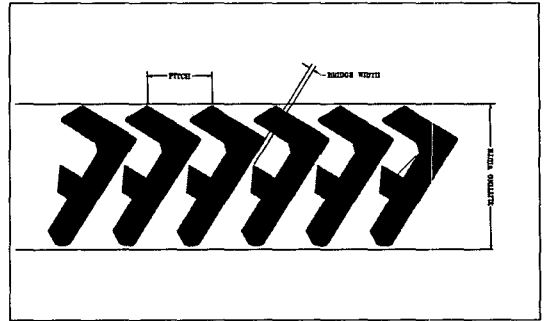


Fig. 5 Definition of bridge width, slitting width and pitch in a strip layout

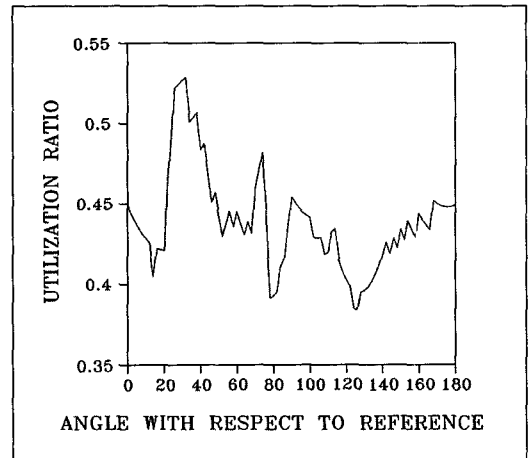


Fig. 6 Variation of utilization ratio with reference to tilting angle

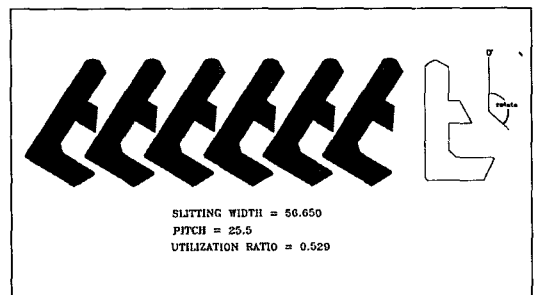


Fig. 7 Single row layout of a sample blank with best utilization ratio

Fig. 4의 112 프레임(frame) 4극 모터 코어용 스테이터와 로터를 단일 배열로 블랭킹을 할 때 도면을 시스템에 입력시켜 블랭크 레이아웃 모듈에서 수행되어진 출력 결과를 Fig. 8에 나타내었고 이열 배열로 블랭킹을 할 때의 출력 결과는 Fig. 9에 나타내었다. 스테이터와 로터를 이열 배열로 블랭킹을 할 때에는 CASE 2와 같은 배열에서 UR의 값이 0.830으로써 최대가 되어짐을 알 수 있다. 이와 같이 블랭크 레이아웃 모듈에서는 재료 이용률을 최대로 하는 블랭크 경사 각도를 구하고 이에따른 슬리팅 폭과 피치가 계산되어져서 스트립 레이아웃 모듈에 연결된다.

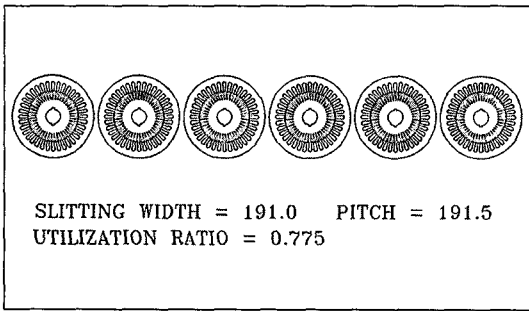


Fig. 8 Single row layout of stator and rotor with best utilization ratio

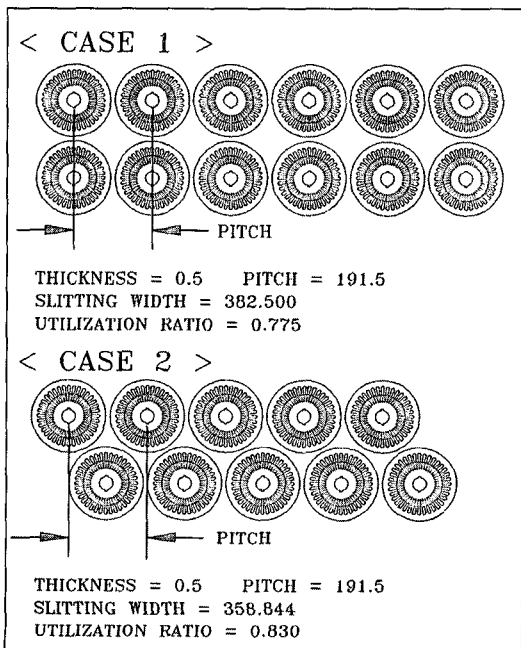


Fig. 9 Multiple row layout of stator and rotor with best utilization ratio

### 3-2 스트립 레이아웃

앞의 가공가능성 검사 모듈과 블랭크 레이아웃 모듈에서의 결과를 판단의 근거로 블랭킹 공정에 대하여 스트립 레이아웃 모듈이 수행한 결과, 출력된 불규칙한 형상을 가진 박판 제품의 스트립 레이아웃과 스테이터와 로터의 스트립 레이아웃을 각각 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다.

Fig. 10 a)는 설계자가 입력한 제품의 불규칙한 형상을 나타낸 것으로, 이들 각각의 형상별로 분해하여 각 형

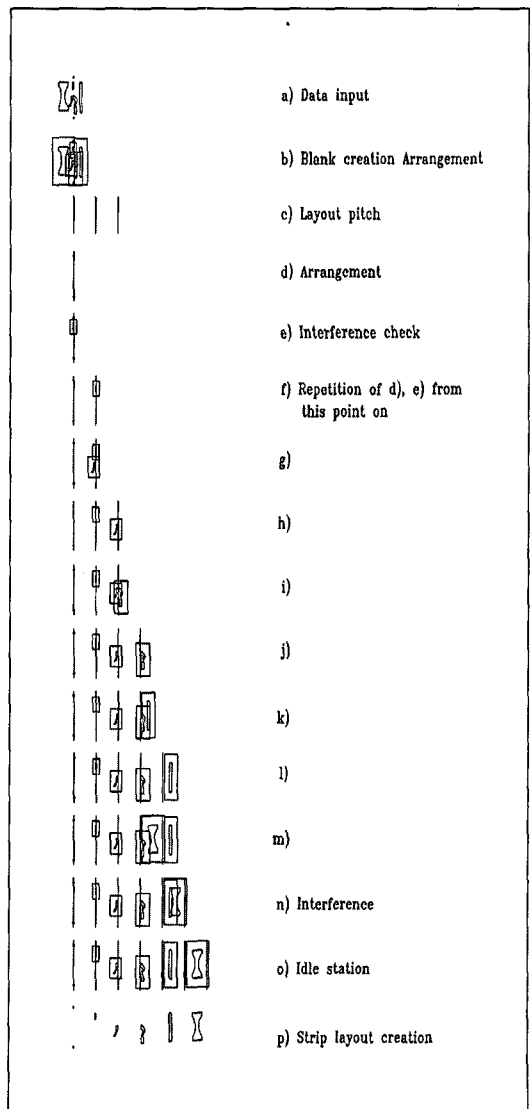


Fig.10 Automatic strip layout program flow chart for irregularly-shaped sheet metal blanks

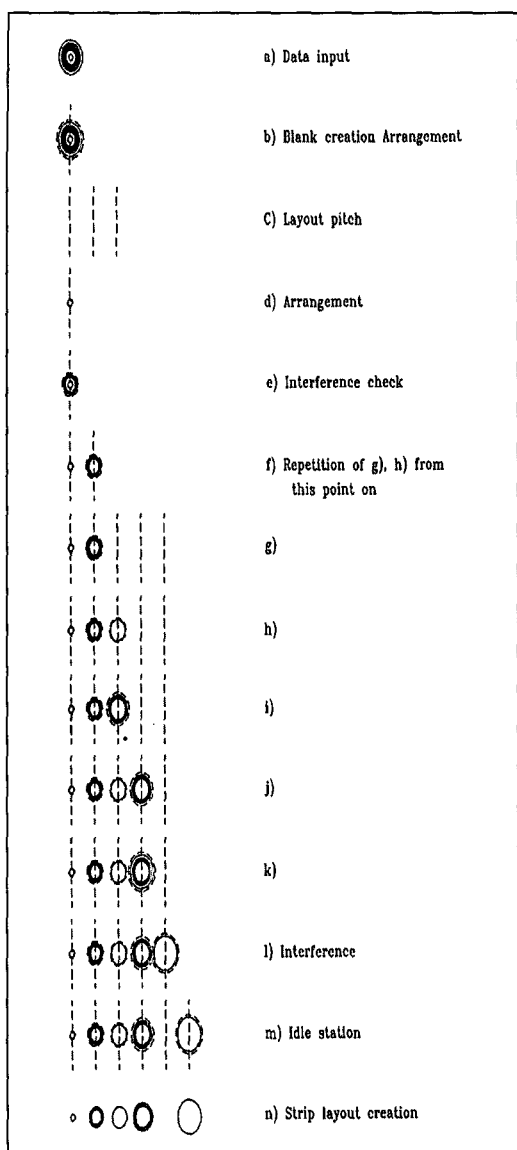


Fig.11 Automatic strip layout program flowchart for Stator and Rotor

상들에 대하여 창출된 다이 블랭크 형상을 b)에 나타내었다. 각 형상들의 둘레는 자동으로 시스템에 인식되어 다이 블랭크 형상이 설계되어진다. 다이 블랭크의 배열 순서는 설계 규칙(19)에 의하여 순차적으로 배열되게 된다. 각각의 다이 블랭크 간의 간섭을 확인하고 간섭이 발생하지 않도록 배열하는 공정들 c)-o)까지에 나타내었다. 그림 e)에서 보면 간섭이 발생함을 알 수 있다. 따라서 f)와

같이 다음 피치에 배열되게 된다. 이와 같은 공정들을 반복하여 최종적으로 p)와 같은 배열이 완성되게 된다.

Fig. 11은 이를 스테이터와 로터에 적용하여 본 결과를 나타낸 것이다. 따라서 본 연구에서 개발된 시스템을 사용하면 경험이 없는 사람이라도 설계가 용이하고 시간과 경비를 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 전편의 공정설계 시스템에 블랭크 레이아웃 모듈을 첨가하고 다이 블랭크를 고려한 개선된 스트립 레이아웃 모듈로 확장시키므로써 더욱 강화된 피어싱 및 블랭킹의 공정설계 시스템(STRTDES1)을 개발하여 불규칙한 형상을 가진 박판제품과 모터 코어용 스테이터와 로터에 적용하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 프로그레시브 다이의 공정설계에 필요한 기술과 경험을 규칙 형태로 체계화하여 공정설계 방법을 정식화하였으며 공정설계 자동화 시스템을 개발하였다.
2. 본 시스템에서는 불규칙한 형상을 가진 박판제품을 단일 배열로 블랭킹할 때와 스테이터와 로터를 이열 배열로 블랭킹할 때 Utilization Ratio(UR)를 최고로 할 수 있는 블랭크 레이아웃을 설계 할 수 있다.
3. 여러종류의 스테이터와 로터는 물론 불규칙한 형상을 가진 박판제품을 AutoCAD도면으로 스크린 상에 입력시키면 본 시스템에서는 자동적으로 스트립 레이아웃에 대한 공정설계가 수행되어진다. 따라서 경험이 없는 사람이라도 설계가 용이하고 시간과 경비를 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

#### 참고 문헌

1. G. Schaffer, "Computer design of progressive dies", Am. Mach, Vol. 22, pp. 73-75, 1971.
2. B. Fogg and Jaimeson, " The influencing factors in optimizing press tool die layouts and a solution using computer aids", CIRP Annals, Vol. 24, pp. 429-434, 1975.
3. Y. Shibata and Y. Kunimoto, "Sheet metal CAD/CAM system", Bull. Jpn. Soc. prec. eng., Vol. 15, pp. 219-224, 1981
4. S. Nakahara, T. Kojima, S. Tamura, A.

- Funimo, S.Choichiro and T. Mukumuru, "Computer progressive die design", Proceedings of 19th MTDR conference, PP. 171-176, 1978.
5. 최 재찬, 김 병민, 김 철, 이 승민, "스테이터 및 로터의 블랭킹에 관한 자동화된 공정 설계 및 금형설계 시스템", 한국정밀공학회, 1995년도 추계학술대회논문집, pp. 642-647
  6. Y.K.D.V. Prasad and S. Somasundaram, "CASNS : a heuristic algorithm for the nesting of irregular-shaped sheet-metal blanks", Computer-Aided Engineering Journal, April 1991.
  7. A.Y.C. Nee, "A Heuristic Algorithm for Optimum Layout of Metal Stamping Blanks", Annals of the CIRP Vol. 33, January 1984.
  8. Y.K.D.V. Prasad and S. Somasundaram, "CADDs : An automated die design system for sheet-metal blanking", Computing & control engineering journal, pp. 185-191, 1992.
  9. K. Shirai and H. Murakami, "A compact and practical CAD/CAM system for progressive dies", Bull. Jpn. Soc. of Prec. Engg., Vol. 23, No. 1, pp 25-30, 1989.
  10. 李承熙, 韓允熙, 金世煥, 金型設計資料集, 大光書林, pp. 368-450, 1992.
  11. Constantin Iliescu, "Cold-Pressing Technology", Elsevier, 1990.
  12. D.F. Eary, E.A. Reed, "Technique of press-working sheet metal", Prentice-Hall, Inc., 1974.
  13. F.W. Wilson, P. H. Harvey, "die design handbook", Mcgraw-Hill company, 1963.
  14. F. Strasser, "The secret of successful press tool design", Tooling, February 1976.