철형을 사용하는 반복재단 공정을 위한 다중 페어링 알고리즘의 개발

조 경 호*

Development of Recursive Auto Pairing Algorithm for Progressive Stamping Process

Kyung-Ho Cho*

ABSTRACT

An efficient auto pairing algorithm has been developed for the progressive stamping process. In the progressive stamping process, several equal-shaped parts are nested on a raw material sheet in repeated pattern and a knife-die is used to progressively stamp out the parts. In this paper, the basic algorithm of the developed pairing method is briefly described, and several sample tests and evaluation results are presented.

Key Words : Recursive auto pairing, Progressive stamping process, Knife-die, Nesting

I. 서론

일반적으로 신발, 피혁산업에서는 시트(sheet)형 소재로부터 동일형상의 부품들을 반복 재단하여 사용한다. 최근 급격한 인건비 상승과 소재의 고급화 경향에 따라, 이러한 산업에서는 원자재 사용효율의 극대화와 단위시간당의 생산성 향상을 중요시 한다. 동 분야에서 사용되는 자동재단기들은 대부분 수입제품으로서 기계에 탑재되어 도입되는 자동배치 소프트웨어도 100% 외국산이다. 최근 동분야의 자동재단기 국산화 사업의 일환으로 재단기 하드웨어 부분의 개발이 어느 정도 결실을 보게 되었다.

본 연구는 새로이 개발되는 국산 재단기에 탑재될 자동배치 소프트웨어의 핵심기술 부분인 최적 자동페어링 방법개발[1]에 관한 것으로서, Fig. 1과 같이 시트형 원자재를 연속적으로 이송하면서 철형(knife-die)을 이용하여 동일형상의 부품을 반복 재단하는 자동재단기에서 사용할 자동배치 소프트웨어를 개발하였다. 본 논문에서는 독자적으로 개발된 자동 페어링 알고리즘의 개

* 제주대학교 기계에너지시스템공학부, 첨단기술연구소
Faculty of Mechanical, Energy and System Eng. Cheju Nat'l Univ., Res. Inst. of Adv. Tech.

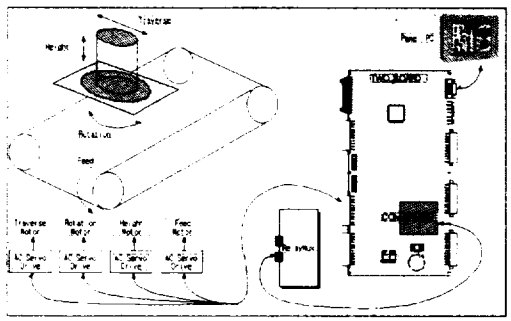


Fig. 1. Schematic diagram of an automatic progressive stamping machine

요와 여러 가지 샘플에 대한 테스트 결과 및 검토내용을 소개하고자 한다.

II. 본론

문헌조사에 따르면 최적배치 (optimal nesting) 분야에 대한 연구는 상당히 오래 전부터 수행되어 왔다. 그러나, 동일형상의 반복배치에 대한 연구문헌은 그렇게 흔치 않고 일부 금형을 이용한 연속 프레스 작업 분야에서 나타나고 있다[2-5]. 특히, 참고문헌 [4,5]의 연구가 동 분야에서의 가장 최근의 연구문헌인데, 참고문헌 [4]의 연구는 Simulated Annealing 알고리즘을 최적배치 문제에 최초로 적용한 사례로 평가된다. 참고문헌 [5]의 연구에서도 동일형상의 반복배치 문제를 형상의 화소표현(pixel-based shape representation)법으로 효과적인 결과를 얻을 수 있음을 보였다. 그러나, 참고문헌 [4,5]의 연구 모두 엄밀해를 계산하는 방법이 아니고, 많은 시뮬레이션 테스트로 얻어지는 결과를 제시하는 방법으로서, 실행시간이 상대적으로 많이 소요된다는 문제점과 어느정도 엄밀해에 근접한 결과를 줄 수 있는 지가 의문시 되고 있다.

본 연구에서는 동일형상의 최적 반복배치 해를 벡터표현법에 의거하여 회귀적 다단 페어링(recursive multi-step pairing) 기법으로 빠르고 정확히 계산해 내는 알고리즘을 새로이 개발하였다.

2. 1. 개발사양

본 연구에서 개발하고자 하는 자동배치 프로그램은 다음의 개발사양을 만족하도록 제한되어 있다.

- 개발 프로그램은 재료의 손실을 최소로 하면서도 재단작업 속도를 극대화 할 수 있어야 한다.
- 자동배치 분해능은 병진이동에서는 0.1mm 까지 조절 가능하여야 하고, 회전이동에서는 0.05° 까지 조절 가능하여야 한다.
- 개발 프로그램은 on-line 또는 off-line으로 사용할 수 있도록 한다.
- 입력데이터에는 원자재 폭, 형상의 정보, 배치물량, 철형회전 유형, 배치된 형상 사이의 최소 간격 등의 정보가 포함된다.
- 출력데이터에는 입력데이터를 기준으로 최적배치를 수행한 결과로서, 배치된 각 형상들의 위치정보, 회전정보, 배치효율, 원자재 사용길이 등의 정보가 포함된다.

2. 2. Auto Pairing Algorithm 개요

2. 2. 1. Pairing Parameter 정의

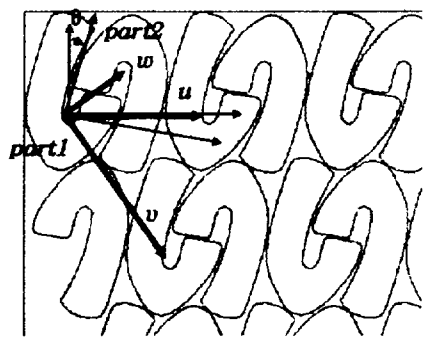


Fig. 2. Parameters for recursive pairing

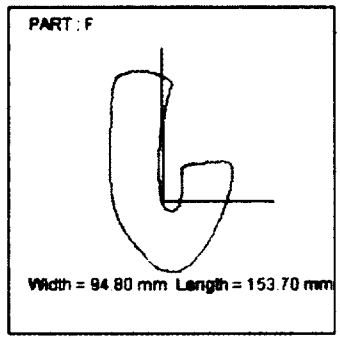


Fig. 3. Reference part

Fig. 2는 Fig. 3의 기준형상을 반복배치한 원자재의 일부분을 표시한 것이다. Fig. 3에서 보는바와 같이 동일형상의 2차원 반복배치를 위해서 기본적으로 요구되는 정보는 그림에 표시된 u, v, w 및 θ 값들이다. 이들 정보의 정의는 다음과 같고, 본 프로그램에서 최적 반복배치 문제를 해결하기 위해서 수행하는 것도 기본적으로는 이들 정보의 최적 값 탐색에 있다.

part1 : 기준형상의 θ 회전 형상

part2 : 기준형상의 0 혹은 θ -180° 회전 형상

u : part1의 x 방향 반복배치를 위한 이동벡터

v : part1의 다음 layer에서의 반복배치를 위한 이동벡터

w : part1에 대한 part2의 상대위치 벡터

본 프로그램에서 최적의 pairing 조건을 탐색하기 위해서 구현된 알고리즘은 대략적으로 다음의 10 단계를 순차적으로 수행하고 있다.

step 1. *part2 = copy & rotate(Φ) of part1, Φ=0 or 180°*

step 2. *part1과 part2의 최적 상대 위치를 결정 ---> w의 결정*

step 3. *pp1 = part1 ∪ part2 (union of part1 and part2)*

step 4. *pp2 = copy & rotate(Φ) of pp1, Φ=0*

step 5. *pp1과 pp2의 최적 상대 위치를 결정 ---> w'의 결정*

step 6. *w'를 회전하여 x축과 일치시키기 위하여 pp1,pp2, w'를 모두 회전시킴. ---> θ, u 결정.*

step 7. *ppp1 = pp1 ∪ pp2 (union of pp1 and pp2)*

step 8. *ppp2 = copy & rotate(Φ) of ppp1, Φ=0*

step 9. *ppp1과 ppp2의 최적 상대 위치를 결정 ---> w"의 결정*

step 10. *w"를 회전하여 x축과 일치시키기 위하여 ppp1, ppp2, w"를 모두 회전시킴. ---> v 결정.*

2. 2. 2. Pairing Algorithm의 제한사항

본 프로그램에서는 위의 최적조건 탐색을 수행할 때 다음의 제한사항을 수반하고 있다. 즉, 위의 step 2, 5, 9에서 part1, part2 혹은 pp1, pp2, 혹은 ppp1, ppp2 사이의 최적 상대위치 탐색 시 병진이동 양에는 제한 없이 탐색이 가능하지만, 회전이동에서는 사용자가 지정한 회전 증분으로만 회전방향을 변화시키면서 탐색을 수행한다. 결과적으로 이러한 회전증분에 대한 구속은 작은 회전증분 량을 사용할 경우에는 정밀한 탐색이 가능한 반면 상대적으로 많은 수행시간이 요구된다. 회전 증분 량을 크게 하여 탐색을 수행하면 계산시간은 크게 단축되나, 탐색의 정밀도가 낮아지는 단점이 있다.

2. 3. 최적화 목표 및 주요 구속조건

최적화의 목표는 다음과 같다 ;

일정 폭의 원자재에서 요구되는 물량을 모두 배치할 때 소요된 원자재 길이의 최소화

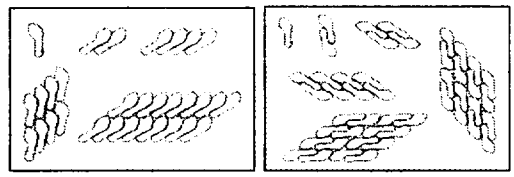
최적 pairing 정보를 탐색할 때 적용되는 최적화 구속조건들로는 다음 사항들이 고려되었다.

- 원자재의 폭은 일정하다.
- 배치형상들은 상호간에 겹침이 없어야 하고 원자재 경계를 벗어나지 않아야 한다.
- 배치형상 사이 혹은 배치형상과 원자재 경계에는 가공여유를 고려하여 주어진 간극(part clearance) 이상이 확보되어야 한다.
- 배치형상들의 회전방향의 종류는 하나의 원자재에서는 최대 2개 이하로 한다.
- 철형의 원자재 이송방향으로의 이동 횟수는 생산성제고의 관점에서 최소화되어야 한다.

III. 샘플 테스트 결과 및 분석

철형을 이용한 자동재단기에서는 철형의 이동 및 회전 유형이 많은 배치일수록 생산성이 저하되는 특성이 있다. 그래서, 생산성 향상의 측면에서 본래의 개발사양에서는 철형의 이용 및 회전에 대하여 상당한 구속조건을 부여하고 있다. 그러나, 이러한 구속조건은 배치효율 향상의 측면에서 부정적인 요소로 작용하는 것들이 있다. 대표적인 것으로는 철형의 이동 및 회전 유형에 대한 제한이다.

3. 1. 철형 이동에 대한 구속조건 재검토

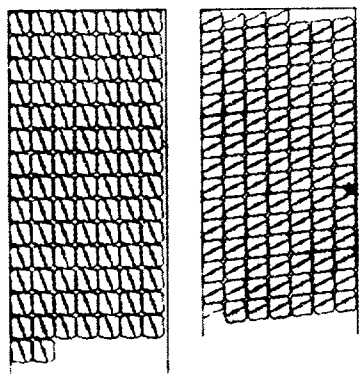


(a) (b)

Fig. 4. Allowed and prohibited nest patterns : (a) 1 rotation of knife-die, (b) 2 rotations of knife-die

원래의 개발사양에서는 한 layer에서 철형의 원자재 이송방향(Fig. 4에서 원자재 경계를 따른 세로방향)으로의 이동은 가능한 최소로 하여 재단시간을 단축하고자 하는 취지의 구속조건이 있었다. 즉, Fig. 4에서 보는 바와 같이 원자재 이송방향으로의

철형의 이동횟수가 많은 배치는 제외되도록 요구되었다.



(a) (b)

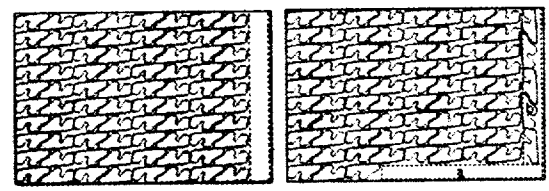
Fig. 5. Nesting results : (a) with and (b) without constraint on knife-die movements

그러나, 개발과정에서 다음과 같은 상황이 발견되었다. 즉, 철형의 원자재 이송방향으로의 제한이 없는 경우에 제한이 있는 경우보다 배치효율이 월등히 좋아지는 상황이 있을 수 있다는 것이 발견되었다. Fig. 5는 이러한 상황에 대한 예시로서 동일 폭의 원자재를 사용하여 동일한 개수의 부품을 배치한 결과이다. Fig. 5 (a)는 철형 이송이 최대로 제한되어 있는 경우이고, (b)는 철형 이송에 대한 구속이 없다는 상황에서 얻을 수 있는 또 다른 배치 상황이다. 그림에서도 볼 수 있듯이 (b)의 경우에서 원자재 사용길이가 (a)보다 적게 나왔다.

따라서, 본 연구에서는 차후에 자동재단기의 철형 이동에 대한 제어성능이 개선되었을 때를 대비하여 Fig. 5 (b)와 같은 배치도 얻을 수 있도록 옵션 처리하였다.

3. 2. 철형 회전에 대한 구속조건 재검토

본래의 개발사양에서는 가능한 철형의 회전유형을 2가지 이내로 제한하도록 하였었다. 그러나, 개발과정에서 철형 회전에 대한 구속과 배치효율 사이에는 미묘한 관계가 있음이 발견되었다. 다음은 이에 대한 고찰이다.



(a) (b)

Fig. 6. Nesting results : (a) 2 rotations and (b) 4 rotations of knife-die

Fig. 6은 총 80개의 형상을 배치한 그림들이다. 여기서, (a)는 철형회전을 가능한 억제한 경우이고, (b)는 철형회전을 4가지 경우까지 허용한 경우이다. (b)는 (a)의 점선으로 표시된 오른쪽의 자투리 영역에 가장 아래 layer에 배치되었던 형상 5개가 이동 배치된 형태로서 철형의 회전에 대한 구속이 좀더 완화되면 원자재의 사용효율을 증대시킬 수 있는 배치형태가 다르게 나올 수 있음을 보이는 사례이다.

따라서, 본 연구에서 개발된 최종 프로그램에서는 필요에 따라 위의 Fig. 6 (b) 상황의 배치도 얻을 수 있도록 옵션처리 하였다.

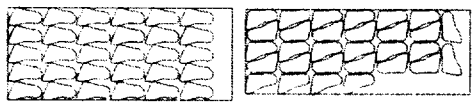
3. 3. 배치시간에 대한 검토

자동배치결과는 자동재단기의 0.1mm 이하의 병진이동과 0.05° 이하의 회전이동 분해능을 지원할 수 있도록 개발계획에 잡혀 있다. 현재 병진이동에 대한 분해능은 충분히 만족되는 것으로 평가되나, 회전이동 분

해능 5° 로 계산하는데 소요되는 시간이 현재 대략 2sec 이내였다. 차후 배치 알고리즘의 고속화 문제를 해결하면 계산시간 60sec 이내에서 회전분해능을 0.05° 의 배치결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

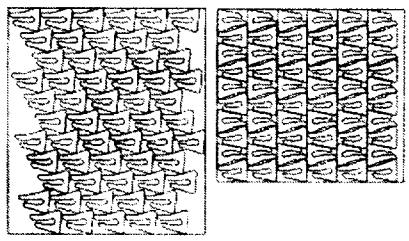
3. 5. 샘플 테스트 결과정리

개발된 프로그램의 성능평가를 위하여 총 20여 종의 신발부품에 대한 테스트를 수행하였다. 다음은 몇가지 대표적인 부품들에 대한 테스트 결과를 정리한 것이다. 참고로, 아래 그림들에서 가로방향이 원자재 폭 방향이고, 세로방향이 원자재 길이방향이다. 각 그림에서 (a)는 철형의 회전수가 1이고, (b)는 철형의 180° 회전이 있는 경우이다. 각 테스트의 경우 원자재의 폭과 배치된 부품수는 (a), (b) 상호 같다. 따라서, 세로방향 길이가 짧은 경우가 배치효율이 좋은 경우이다.



(a) (b)

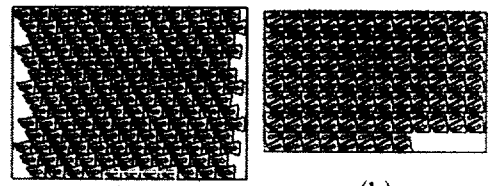
Fig. 7. Case 1 results : nesting efficiency (a) 64.0% and (b) 82.1%



(a) (b)

Fig. 8. Case 2 results : nesting efficiency (a) 52.6% and (b) 67.4%

Fig. 7 (b) 의 경우 철형의 방향이 총 3가지가 되도록 자동 배치된 결과로서 배치효율이 (a)에 비해서 크게 개선되었음을 보인다.



(a) (b)

Fig. 9. Case 3 results : nesting efficiency (a) 57.6% and (b) 86.8%

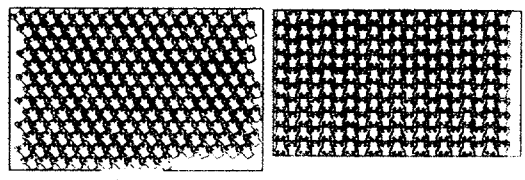
(a) (b)

Fig. 10. Case 4 results : nesting efficiency (a) 66.3% and (b) 71.3%

(a) (b)

Fig. 11. Case 5 results : nesting efficiency (a) 67.2% and (b) 77.3%

Fig. 9는 Fig. 8의 형상의 50% 축소형상을 배치한 결과로서 형상의 크기와 개수에 따라서 최적배치 형태가 다르게 나옴을 보인다. Fig. 10, Fig. 11도 동일형상이지만 크기가 다른 경우이다.



(a) (b)

Fig. 12. Case 6 results : nesting efficiency (a) 71.2% and (b) 75.7%

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 신발산업 분야에서 사용되는 철형을 이용한 신발부품 자동재단기에 탑재될 동일형상 반복배치의 최적해 산출 프로그램을 개발하였다.

- 개발된 프로그램은 총 20여 종의 신발부품에 대한 성능 테스트에서 모두 개발사양을 충족함을 확인하였다.
- 개발과정에서 원래의 개발사양을 능가하는 최적배치 기능이 다수 개발/추가 되었다.
- 다수의 샘플 테스트를 통하여 일반적으로 동일형상의 반복배치에서는 180° 회전된 형상을 조합하여 반복배치 하는 경우가 배치효율 면에서 유리한 경우가 많은 것으로 나타났다.
- 원자재의 폭, 형상의 크기, 개수 등에 따라서 최적배치의 형태가 크게 변하는 것으로 나타났다. 이는 유사형상의 배치결과가 있더라도 원자재 폭, 형상의 크기, 개수 등이 다르면 매번 새로운 배치결과를 얻기 위한 노력이 필요함을 의미하고 결과적으로 전용 배치프로그램이 필요함을 확인하였다.
- 생산성 향상과 원자재 효율 극대화 사이에는 상호 양립하기 어려운 상황도 발생할 수 있음을 구체적인 배치 샘플들을 통하여 확인하였다.

참고문헌

1) 조경호, 2003, 자동재단기용 최적 자동배치 소프트웨어 개발, 위탁연구과제 최종보고서
2) W. W. Chow, 1979, Nesting of a single shape on a strip, International Journal of Production Reserch, Vol. 17, No. 4, pp. 305-322
3) A. Y. C. Nee, 1983, Computer-Aided nesting of similar blanks, Manufacturing Engineering, Technical Paper No. MS 83-925
4) P. Jain, P. Fenyes and R. Richter, 1991, Optimal blank nesting using simulated annealing, Journal of ASME pp. 109-116
5) 조경호, 1993, 판재부품의 가공 자동화를 위한 CAD/CAM 통합시스템, 박사학위논문, 서울대학교, pp. 91-101