

신발 접착제 도포 시스템을 위한 CAD 기반 로봇 오프라인 프로그래밍

CAD Based Robot Off-line Programming for Shoe Adhesive Application System

김진영*, 윤중선, 차동혁
(Jin-Young Kim, Joong-Sun Yoon, and Dong-Hyuk Cha)

Abstract : Most of shoes manufacturing processes are not yet automated, which puts restrictions on the increase of productivity. Among them, adhesive application processes particularly are holding the most workers and working hours. In addition, its working conditions are very poor due to the toxicity of adhesive agents. In case of automating adhesive application processes by using robots, the robot teaching by playback is difficult to produce high productivity because the kinds of shoes to be taught mount up to several thousands. Therefore, it is essential to generate the robot working paths automatically according to the kind, the size, and the right and left of shoes, and also to teach them to the robot automatically. This study deals with automated adhesive spraying to shoe outsoles and uppers by using a robot, and develops the program to generate three-dimensional robot working paths off-line based on CAD data. First, the three-dimensional data of an outsole outline or an upper profiling line are extracted from the two-dimensional CAD drawing file or the three-dimensional scanner. Next, based on the extracted data and the nozzle conditions for adhesive spraying, a robot working path is generated automatically. This research work is the core in automating adhesive spraying processes, and will do much for increasing productivity of shoes manufacturing.

Keywords : shoe adhesive application system, outsole, upper, robot off-line program, CAD, 3D data extraction

I. 서론

대부분의 노동집약 산업은 현재 많은 부분이 자동화되어 있으나, 몇몇 산업은 아직 자동화가 구축되지 못하고 사람의 노동력에 크게 의존하여 생산하고 있다. 그 중 대표적인 것이 신발산업이다. 현재 신발산업의 대다수 공정은 기계를 일일이 사람이 동작시키거나 사람이 직접 작업하고 있다. 그로 인해 생산성이 높지 않을 뿐 아니라 또한 열악한 작업 환경으로 인해 사람들이 기피하면서 점점 사양화되고 있다 [1]. 신발 생산공정 중에서 특히, 접착제 도포 공정은 가장 많은 사람이 투입되어 있는 공정으로 접착제의 유독성 때문에 생산환경이 열악하고 작업자들의 산업재해가 잦은 공정 중 하나이다[2]. 이렇에도 불구하고 접착제 도포공정은 가장 자동화가 덜 이루어져 있다. 이 공정에 로봇을 접목하여 자동화를 구축할 경우에 수천 종에 달하는 다양한 신발 종류와 크기에 대응하는 로봇작업의 교시(teaching)를 플레이백(playback) 방식으로 하기에는 무리가 있다[3]. 로봇 응용 자동화 공정에 CAD를 이용하는 많은 연구[4,5,6]가 있으나, 2차원(2D) 및 3차원(3D) CAD 도면으로부터 신발공정의 로봇 작업경로를 자동 생성하기 위한 연구는 이루어지지 않았다.

이에 본 연구에서는 신발 아웃솔(outsole)과 갑피(upper)의 접착제 도포공정을 대상으로 하여, CAD 데이터에 기초한

로봇 작업경로를 자동으로 생성하는 프로그램을 개발한다. 실제 산업현장에서 아웃솔의 경우 대개 2D CAD 도면으로 관리되고, 갑피의 경우에는 대개 3D 스캐닝 데이터가 유효한 현실을 감안하여, 아웃솔에서는 2D CAD 도면을 기초로 아웃솔 최외곽 윤곽선의 x, y, z 3D 데이터와 아웃솔 외곽면의 기울기 및 윤곽선의 방향각 등 오리엔테이션 정보를 추출한다. 갑피에서는 3D 레이저스캐너에 의한 스캐닝 데이터를 3D CAD 프로그램에서 불러들인 후, 이로부터 갑피의 접착제 도포 기준선인 하나의 윤곽선에 대한 x, y, z 3D 데이터와 갑피면의 기울기 및 윤곽선의 방향각 등을 추출한다. 이후 추출된 3D 데이터로부터 접착제를 분사하는 노즐 조건에 따라 로봇의 작업경로를 자동으로 생성하는 오프라인 프로그램을 개발한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2장에서는 아웃솔의 2D CAD 도면으로부터 최외곽 윤곽선의 3D 데이터를 추출하는 방법을 기술하고, 3장에서는 갑피의 3D 스캐닝 데이터로부터 갑피 윤곽선의 3D 데이터를 추출하는 방법을 기술한다. 4장에서는 추출된 윤곽선의 3D 데이터로부터 접착제를 도포할 로봇경로를 자동으로 생성하기 위한 오프라인 프로그램을 기술한다. 5장에서는 4장에서 생성된 로봇경로로부터 실제 로봇을 구동시키기 위한 동작 프로그램을 기술하고, 마지막으로 6장에서 본 논문의 결론을 기술한다.

II. 신발 아웃솔의 외곽 데이터 추출

1. 2D CAD 도면으로부터 외곽선의 3D 데이터 추출

일반적으로 3각 작도법으로 작성된 2D 도면의 정면도와

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 2. 10., 채택확정 : 2004. 5. 13.

김진영 : 동명정보대학교 메카트로닉스공학과(kiy97@tit.ac.kr)

윤중선 : 부산대학교 기계공학부(jsyoon@pusan.ac.kr)

차동혁 : 한국산업기술대학교 제어계측공학과(dhcha@kpu.ac.kr)

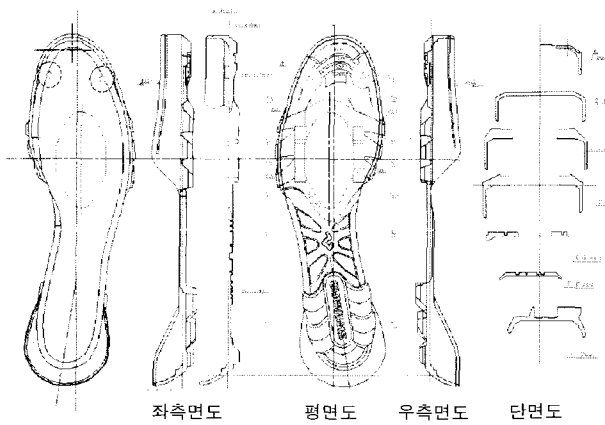


그림 1. 신발 아웃솔의 2차원 도면 예.
Fig. 1. A 2D drawing of a shoe outsole.

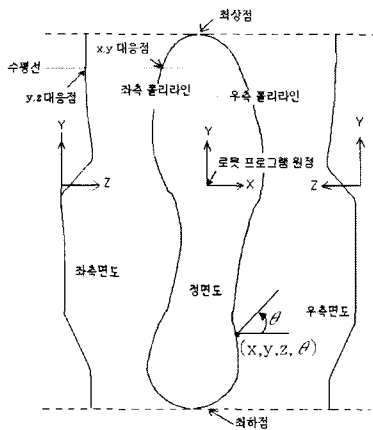


그림 2. 4개의 폴리라인으로 구성된 아웃솔 외곽선.
Fig. 2. Outsole outlines composed of 4 polylines.

측면도는 3차원 좌표값 중 각각 x, y와 y, z정보를 갖고 있다. 따라서 이 둘의 조합으로 x, y, z의 3D 좌표 데이터를 추출할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 방법을 이용하여 신발 아웃솔의 최외곽에 해당하는 윤곽선의 3D 좌표를 구하고자 한다. 실제로 이 윤곽선이 신발 아웃솔에의 접촉제 도포를 위한 로봇 작업경로를 계산하는 기준선이 된다. 제안된 방법의 구현 예로서 본 논문에서는 사용도가 높은 2D CAD 프로그램인 AutoCAD와 AutoCAD 매크로 언어인 AutoLISP을 이용하여 3D 데이터를 추출하는 방법을 기술하고자 한다.

2D CAD 도면으로부터 3D 데이터를 추출하기 위해서 우선 그림 1에 보여지는 신발 아웃솔의 2D 도면을 불러들인다. 3D 데이터를 추출하고자 하는 최외곽 라인은 끊김이 없이 하나의 연결된 라인, 즉 폴리라인(polyline)으로 되어 있어야 한다. 그림 2는 그림 1의 정면도와 좌측면도, 우측면도에서 정면도의 최외곽선에 해당하는 선을 폴리라인으로 변환한 도면을 보여준다. 그림 2에서 폴리라인은 정면도에 왼쪽과 오른쪽에 각각 한 개씩 즉, 좌측 폴리라인과 우측 폴리라인이 있고, 또한 좌측면도와 우측면도에 각각 한 개씩 모두 4개의 폴리라인이 있다. 폴리라인의 생성은 AutoCAD

의 명령어 중 JOIN 이란 명령어를 이용하여 여러 개의 요소로 이루어진 라인을 하나의 개체인 폴리라인으로 변환할 수 있다[7]. 그리고, 그 외 치수선이나 다른 선들은 제거해도 무방하다.

그림 2에서 외곽선 상의 임의의 한점의 x, y, z 3D 좌표를 추출하는 방법은 다음과 같다. 그림 2의 정면도의 좌측 폴리라인은 외곽선의 x, y 좌표 정보를 갖고 있고, 좌측면도의 폴리라인은 y, z 정보를 갖고 있으므로 두 폴리라인에서 같은 점을 나타내는 대응점을 찾으면 그 점의 x, y, z 정보를 모두 알 수 있다. 대응점을 찾기 위해서는 우선 수평선을 그리고, 이 수평선과 두 폴리라인이 교차하는 두 점을 찾으면 이들이 바로 같은 점을 나타내는 대응점이 된다. 같은 방법으로 정면도의 우측 폴리라인과 우측면도에 수평선을 그려서 수평선과 두 폴리라인의 교점으로부터 대응점을 찾으면 정면도 우측 부분에 대한 3D 데이터를 추출할 수 있다.

2. AutoLISP에 의한 3D 데이터 추출

이번 절에서는 AutoCAD의 매크로 언어인 AutoLISP을 이용하여 그림 2에 보여진 4개의 폴리라인에 앞 절에서의 방법을 적용하여 3D 데이터를 자동 추출하는 방법을 기술한다. AutoLISP은 AutoCAD에서 사용하는 명령어를 LISP형식으로 프로그래밍하여 일괄 처리하도록 하는 대화식 언어이다[8].

본 연구에서 구현된 AutoLISP 프로그램은 몇 가지 입력 데이터가 필요하다. 먼저 CAD 도면 내에서 로봇 동작을 위한 원점이 지정되어야 한다. 일반적으로 2D CAD 도면의 원점과 로봇 동작을 위한 로봇의 원점이 일치하지 않기 때문에, 로봇원점의 x, y, z 좌표가 CAD 도면 내에서 지정되어야 한다. x축과 y축의 원점은 정면도에서, z축의 원점은 측면도에서 지정된다. 두번째로, 그림 2에 보여진 것과 같은 최외곽 라인의 최상점과 최하점을 입력해야한다. 로봇경로를 생성할 범위를 지정하는 것으로 신발 아웃솔의 가장 위에 있는 점과 가장 아래에 있는 점을 지정한다. 마지막으로 최상점과 최하점 사이의 작업점 개수를 지정함으로써 연결된 폴리라인을 몇 등분하여 작업점을 생성할 것인가를 지정한다. 작업점의 개수를 많이 지정하면 로봇 구동시 정밀도가 높아지지만 반면에 로봇 작업시간이 증가하게 되므로 정밀도와 작업시간을 고려하여 적절한 작업점 개수를 설정한다.

AutoLISP을 통하여 생성된 3D 데이터는 x, y, z, θ 로서 4개의 출력 값을 가진다. x, y, z는 한 개 포인트의 3D 좌표이고, θ 는 아웃솔 측면의 방위각이다.

III. 신발 갑피의 윤곽선 데이터 추출

3차원 레이저 스캐너에 의한 갑피의 3D 스캐닝 데이터로부터 로봇을 이용하여 갑피에 접촉제를 분사하기 위한 기준선인 갑피 주위의 임의의 윤곽선의 3D 데이터를 추출하기 위한 방법을 기술한다. 본 장에서는 대표적인 3D CAD 프로그램의 하나인 CATIA에 기초하여 기술하되, 제안된 방법은 CAD 프로그램의 기본 기능들을 이용함으로써 CATIA 이외의 다른 3D CAD 프로그램에서도 똑같이 적용될 수 있도록

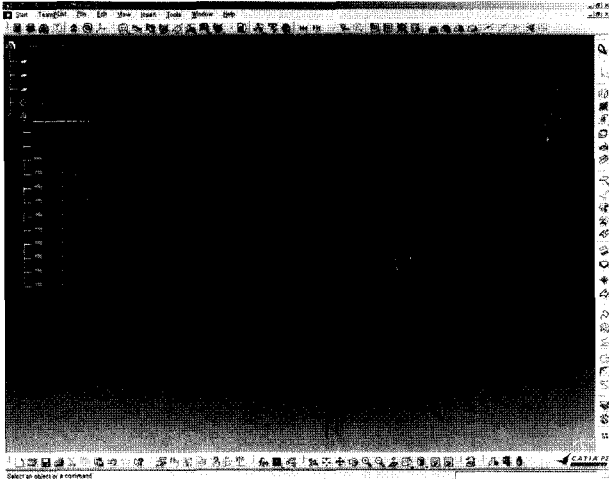


그림 3. CAD 프로그램에서 불러들인 신발 갑피의 그림 3DScanning 데이터의 예.

Fig. 3. 3D scanning data of a shoe upper opened in Fig. CADprogram.

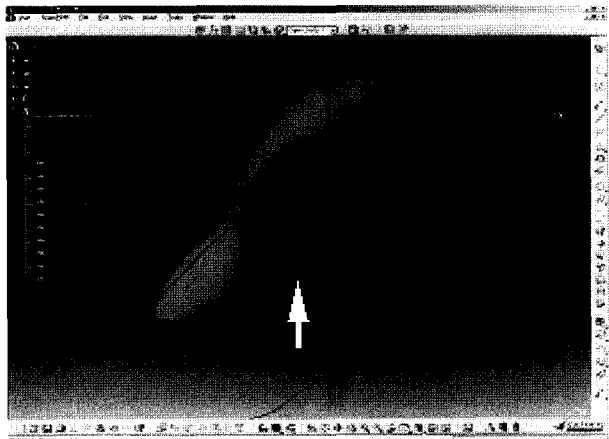


그림 4. 신발 갑피 주위의 기준 윤곽선 형성.

Fig. 4. A profiling line formed on a shoe upper.

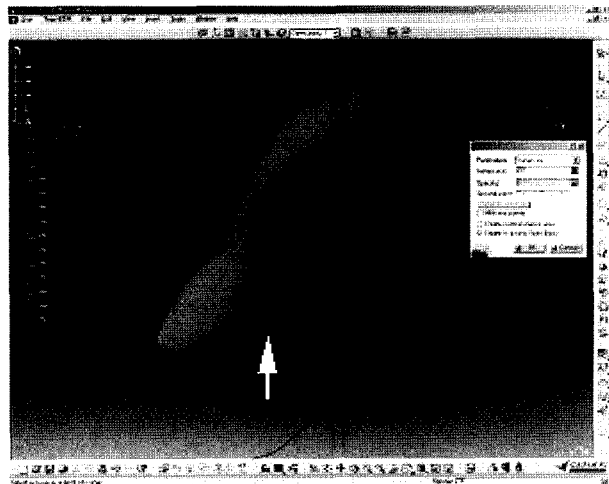


그림 5. 기준 윤곽선을 구성하는 포인트 생성.

Fig. 5. Generation of points on a profiling line.

한다[9]. 우선 레이저 스캐너에 의한 신발갑피의 3D 스캐닝 데이터를 3차원 CAD 프로그램에서 불러들인다. 그림 3은 3D 스캐닝 데이터를 CATIA로 불러들인 예를 보여준다. CAD 프로그램에서 스캐닝 데이터의 불러들이기 가능하기 위해서는 스캐닝 데이터의 포맷이 CAD 프로그램에서 적용 가능해야 한다. 본 연구에서 사용한 스캐닝 데이터의 포맷은 IGES이고, 이는 CATIA 이외에도 대부분의 3차원 CAD 프로그램에서 적용 가능하다.

다음으로는 갑피 접착제를 분사하기 위한 갑피 상의 기준 윤곽선을 형성한다. 기준 윤곽선은 접착제를 도포하기 위하여 미리 약속된 갑피 주위의 기준선으로써, 그림 3의 CAD 프로그램에서 불러들인 화면 상에서 작업자가 기준선을 따라 적절한 간격으로 마우스를 클릭함으로써 형성할 수 있다. 이는 CATIA의 경우 3D Curve 라는 메뉴를 이용하여 수행된다.

그림 4는 3D Curve 메뉴를 이용하여 신발 갑피의 표면에 형성한 윤곽선의 예를 보여준다. 형성된 윤곽선의 3차원 x, y, z 좌표값을 구하기 위해서는 결국 윤곽선을 이루는 포인트들의 좌표값을 구해야 한다. 이를 위하여 그림 4의 형성된 윤곽선에서 일정 간격으로 포인트를 추출해야 하고, 이는 CATIA의 경우 Points & Planes Repetition 메뉴를 이용하여 수행할 수 있다.

요구되는 윤곽선 정보의 정도를 감안하여 적절한 포인트의 개수를 설정한다. 그림 5는 형성된 기준 윤곽선에 대하여 이를 구성하는 포인트를 생성한 결과를 보여준다.

다음으로는 생성된 각 포인트들의 3차원 x, y, z 좌표값을 추출하여 텍스트 파일로 저장함으로써, 이에 기초하여 접착제를 도포할 로봇의 이동 경로를 생성할 수 있도록 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 CAD 보조 프로그램의 하나인 Iges to Point를 이용하여 포인트 좌표값의 텍스트 파일을 생성하였다. 이 프로그램은 IGES 데이터에서 포인트 좌표값을 추출하여 텍스트 파일로 변환하는 기능을 갖고 있으며, CIMVI Technology 사에서 개발하여 프리웨어로 제공하고 있기 때문에 누구나 쉽게 구할 수 있다[10]. 즉 이 프로그램을 이용하여 그림 5에서 생성된 각 포인트들의 x, y, z 좌표값을 텍스트 파일로 저장할 수 있다. 이 프로그램은 CATIA 이외의 다른 3D CAD 프로그램에서도 사용 가능하다.

IV. 로봇 작업경로 생성을 위한 오프라인 프로그래밍

1. 노즐 읍셋을 고려한 로봇경로 자동생성

신발 아웃솔 또는 갑피에서의 접착제 분사는 노즐에 의하여 이루어진다. 노즐이 로봇 손목 끝에 붙어서 경로를 따라 이동하면서 접착제를 분사한다. 노즐에서 분사되는 접착제는 작업장의 온도와 접착제의 특성에 따라 분사되는 면적이 틀리고 아웃솔 또는 갑피의 모양에 따라 분사 방향이 다르다. 따라서 현장의 상황에 따라 노즐조건을 설정해 주어야 한다. 그림 6은 설정해야 하는 노즐조건을 보여주는데 접착제를 분사할 때 접착제가 아웃솔 또는 갑피에 도포되는 범위와 노즐 끝 부분인 로봇의 공구좌표(tool coordinate) 원점을 CAD 데이터에서 추출한 접착제 도포 기준선의 3D 데이터를 기준으로 설정할 수 있도록 하였다.

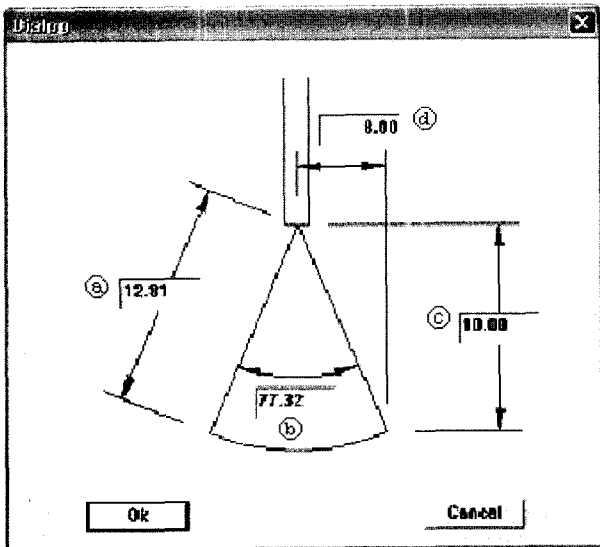


그림 6. 노즐의 조건 설정.
Fig. 6. Nozzle condition setting.

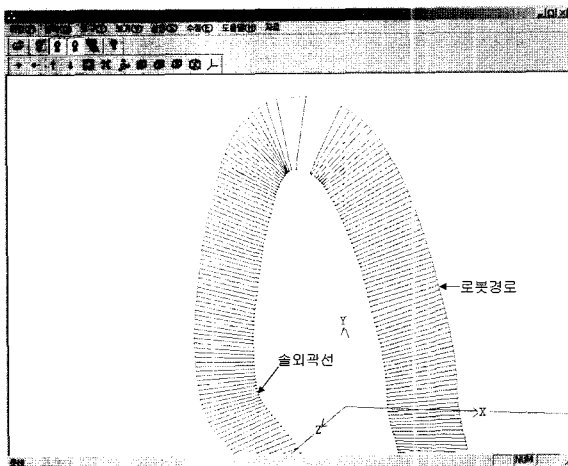


그림 7. 오프라인 프로그램에 의해 생성된 로봇경로.
Fig. 7. A robot path generated by off-line program.

즉, 기준선의 3D 데이터를 알고 있고, 접착제 도포 영역이 주어지면 노즐 끝의 좌표는 노즐과 도포면 사이의 거리와 접착제가 분사되어 퍼지는 분사각으로부터 구할 수 있다. 그림 6에서 노즐과 도포면 사이의 거리는 부채꼴의 반경(㉑)에 해당하고, 접착제 분사각은 원호각(㉒)에 해당한다. 한편 이들 대신에 노즐 방향의 옹셋크기(㉓)와 노즐에 수직인 방향으로의 옹셋크기(㉔)가 주어져도 노즐 끝의 좌표를 구할 수 있다. 어쨌든 부채꼴 원호의 한쪽 끝이 접착제 도포 기준선에 해당하도록 노즐의 위치를 결정한다. 노즐의 x, y, z 위치 이외에 방향각 θ 도 구해야 하는데, 이는 도포 기준선의 법선 벡터로부터 구할 수 있다. 법선 벡터는 임의의 한 점을 기준으로 이웃한 두 점을 연결하는 직선의 방정식을 구한 후, 이 직선과 수직이 되는 벡터를 구하면 된다.

그림 7은 접착제 도포 기준선의 3D 좌표와 노즐 조건으로부터 생성된 로봇경로의 예를 보여준다. 이와 같이 생성된 로봇경로를 단순화시킬 필요성이 있거나, 불필요한 부분이

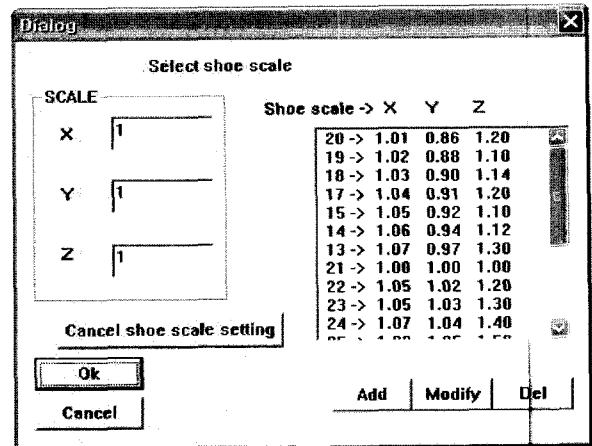


그림 8. 신발 치수에 따른 크기 변화율.
Fig. 8. Scale factors according to shoe size.

있어서 불가피하게 경로를 수정해야 하는 경우가 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 생성된 로봇경로의 임의의 부분이나 전체에 대해 수정할 수 있도록 하였다. 수정 방법으로써 로봇경로 상의 한 점 또는 여러 개의 작업점들을 xy 평면이나 yz 평면에서 이동시켜 수정할 수 있도록 하였고, 또한 작업경로를 따라 임의의 위치에 작업점을 추가하거나 또는 기존의 작업점을 삭제함으로써 수정할 수 있도록 하였다[11,12].

2. 신발사이즈에 따른 작업경로 자동생성

신발은 한 개의 모델에 대해 서로 좌우가 있고, 또한 대개 삼십여 개에 달하는 사이즈 종류를 갖고 있다. 한 라인에서 보통 수십 개의 모델을 생산하는 신발 공장의 현실을 고려한다면 한 라인에서 로봇이 대응해야 하는 작업의 종류는 수천 가지에 이르게 된다. 따라서 수천 가지에 달하는 작업내용을 일일이 생성해 내고 또 로봇에 교시하는 것만도 거의 불가능에 가깝다. 그러므로 동일 모델 내에서 만이라도 사이즈 변화에 따른 작업경로를 자동 생성하여 로봇에 교시할 수 있다면 생산성은 대폭 향상될 것이다. 그런데 대부분의 신발의 경우에는 신발 모델에 따라 하나의 사이즈를 기준으로 하여 다른 사이즈의 신발들에 대해 x, y, z 방향의 치수 변화율(scale factor)이 설정되어 있다. 따라서 설정되어 있는 치수 변화율을 이용하면 기준 사이즈 하나에 대해서만 앞 절에서와 같은 방법으로 로봇경로를 생성하고 나머지 다른 모든 사이즈에 대해서는 이 치수 변화율로부터 간단히 로봇경로를 자동 생성할 수 있다.

그림 8은 여러가지 사이즈에 따른 치수 변화율의 한 예를 보여준다. 즉 기준 사이즈에 대한 x, y, z 방향의 치수 변화율을 나타낸 것이다. 신발 사이즈를 선택하면 기준 치수를 기준으로 생성된 로봇경로에 선택된 사이즈의 치수 변화율을 곱하여 원하는 사이즈에 대한 로봇경로를 자동 생성할 수 있다.

V. 접착제 도포를 위한 로봇동작 프로그램

본 장에서는 앞 장에서 생성된 로봇경로를 실제 로봇에

적용하여 동작시켜봄으로서 생성된 로봇경로가 올바르게 되었음을 확인한다. 그림 9는 자동 생성된 로봇경로 데이터와 실험에서 사용된 로봇의 동작 프로그램의 한 예를 보여준다. 즉 앞에서 생성된 로봇경로 데이터를 따라서 로봇이 구동되는 동작 프로그램을 작성하여, 로봇을 구동해 본 결과 실제 로봇이 원하는 작업경로를 잘 따라감을 확인하였다.

생성된 로봇경로를 따라 실제 아웃솔에 접착제 도포작업을 수행해 본 결과 로봇경로가 올바르게 생성되어 접착제 도포가 성공적으로 수행됨을 확인하였다. 그림 10은 접착제 도포전의 아웃솔과 로봇에 의한 자동 도포후의 아웃솔을 보여 주는데 접착제 도포가 성공적으로 이루어졌음을 알

D000 34.14 245.52 30.04 86.57 11	SPD 2000
D001 31.75 243.19 29.59 107.38 11	PNT A
D002 30.15 244.55 29.94 113.08 11	A=<0.0.0.0.0.0.0.0>
D003 29.60 244.24 29.90 119.32 11	MVA D000
:	MVA D001
D372 44.22 240.98 29.75 40.91 11	MVA D002
D373 43.60 241.45 29.77 41.02 11	MVA D003
D374 42.33 241.91 29.78 47.34 11	:
D375 42.81 242.37 29.60 50.87 11	MVA D372
D376 42.25 242.60 29.83 54.83 11	MVA D373
D377 41.45 243.32 29.58 53.71 11	MVA D374
	MVA D375
	MVA D376
	MVA D377

a. 로봇경로 데이터

b. 로봇동작 프로그램

그림 9. 로봇동작 프로그램의 예.
Fig. 9. A robot operation program.

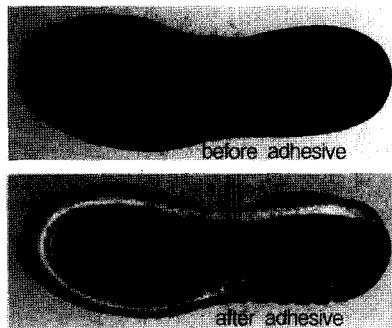


그림 10. 접착제 도포 전과 후의 아웃솔.
Fig. 10. An outsole before/after adhesive spray.

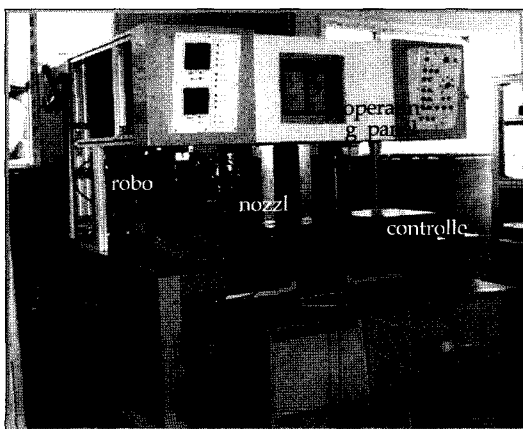


그림 11. 구현된 접착제 도포용 로봇 시스템.
Fig. 11. An implemented robot system for adhesive application.

수 있다. 그림 11은 실제로 구현된 접착제 도포용 로봇 시스템을 보여준다.

VI. 결론

본 연구에서는 신발 아웃솔 및 갑피의 접착제 도포 공정을 대상으로 하여 그들의 CAD 데이터에 기초하여 접착제를 도포하기 위한 로봇의 작업경로를 자동 생성하는 방법을 제안하였다. 아웃솔의 경우에는 2D CAD 도면을 기초로, 갑피의 경우에는 3D CAD 프로그램에서 불러들인 3차원 레이저 스캐너에 의한 데이터를 기초로 접착제 도포 기준선의 3D 데이터를 추출하고 이로부터 접착제 도포를 위한 로봇 작업경로를 노즐 조건에 따라 자동으로 생성하였다. 또한 신발 모델별 기준 사이즈에 대한 치수변화율을 이용하여 다른 사이즈의 신발에 대한 로봇 작업경로를 간단히 자동 생성할 수 있도록 하였다. 이는 수천 가지에 달하는 신발모델 및 사이즈 규격에 대응하여 일일이 하나씩 작업경로를 생성하고, 또 플레이백 방식으로 로봇에게 작업내용을 교시하는 것이 현실적으로 너무 힘들기 때문에 오프라인 프로그래밍 방식을 이용하여 수많은 종류의 신발에 대해 로봇경로를 자동으로 생성하도록 한 것이다. 또한 생성된 로봇경로를 실제 로봇에 적용하여 동작시켜 봄으로서 생성된 로봇경로가 올바르게 되었음을 확인하였다.

본 연구결과는 열악한 신발산업의 자동화에 일익을 담당함으로써 생산성 향상에 크게 기여할 것이다.

참고문헌

- [1] 민봉식, 조성기, 하상조, 손세영, “부산신발산업의 국제 경쟁력 강화를 위한 생산성 제고에 관한 연구”, 한국중소기업학회, 제15호, pp. 145-177, 1993.
- [2] 박대희, 문덕환, 이채연, “신발제조업체에서 사용되는 접착제에 관한 연구”, 한국산업위생학회지, 제1권, 제2호, pp. 200-213, 1991.
- [3] 차정연, 최도원, “공장자동화에서 산업용 로봇의 도입전략과 기술방향”, 군산대학교 지역개발연구소, 제 5호, pp. 55-78, 1993.
- [4] 김재정, “로봇 프로그래밍을 위한 GUI와 CAD의 응용 GIROB(graphic user interface for robot programming)”, 한국자동차공학회논문집, 제3권, 제6호, p.199-211,1995.
- [5] 민병우, “문자 영역의 분리와 기하학적 도면 요소의 인식에 의한 도면 자동 입력”, 대한전자공학회논문지, 제 31권, 제 6호, p.91-103, 1994.
- [6] 곽병만, 정경렬, “기하학적 형상의 자동입력 및 처리시스템 개발”, 機械기계와 재료, 한국기계연구원, 제18권, 제 2호, p.176-182, 1988.
- [7] 엄정섭, *AutoCAD 2000 Bible*, 영진닷컴, 2000.
- [8] 이한규, *AutoLISP 완벽가이드*, 영진닷컴, 1991.
- [9] Carman, *CATIA Reference Guide*, 대응출판사, 1999.
- [10] igs2pt.exe, <http://www.cimvi.com/down.html>, CimVi Technology, 2001.
- [11] J. M. Sweet, R. S. Wright, "OpenGL Super Bible 2nd Edition", InfoBook, 2001.

[12] 이상수, OPENGL 프로그래밍, 사이버출판사, 1997.



김진영

1985년 서울대학교 기계설계학과 졸업. 한국과학기술원 생산공학과 석사(1988), 한국과학기술원 자동화및설계공학과 박사(1999). 1999년~현재 동명정보대학교 메카트로닉스공학과 조교수. 관심분야는 생산자동화, 로봇틱스, 메카트로

닉스



차동혁

1984년 서울대학교 기계설계학과 졸업. 한국과학기술원 생산공학과 석사(1986), 한국과학기술원 기계공학과 박사(1995). 1998년~현재 한국산업기술대학교 제어계측공학과 부교수. 관심분야는 로봇제어 및 응용, 원격로봇, 메카

트로닉스.

윤중선

제어·자동화·시스템공학 논문지 제 5 권 제 5 호 참조.