

원료 불출기 자동화를 위한 원료 불출 착지점 결정 방법

A method for trajectory landing position of bucket of reclaimer

이 관 회*, 안 현 식*, 최 진 태*, 신 기 태*

*포항산업과학연구원 공정자동화팀(Tel:279-6748; Fax: 279-6599; E-mail: khlee@tintoy.rist.re.kr)

Abstracts A Reclaimer is used to dig raw material from a pile and transfer it to the blast furnaces. In this paper, we propose the method for trajectory landing position of bucket of reclaimer to fully automate the reclaimer. We use 3-dimensional range finder to detect the shape of a pile. From the image which was detected by 3-dimensional range finder, we extract the outline paths which has same height, and then determine digging height. Finally, we compute the landing point from the outline path. We can prevent overload which can occur on the bucket wheel and guarantee maximum production rate by using the algorithm for determining the landing position on the piles.

Keywords Reclaimer, landing position, range finder, raw material, overload

1. 서론

제철소, 광산, 발전소등의 원료 야드에 쌓인 철광석, 석탄과 같은 원료를 필요 장소로 운반하기 위해서 Reclaimer 라는 장비가 사용된다. Reclaimer 는 원료 야드에 쌓인 원료를 불출하여 컨베이어 벨트에 담아서 필요 장소로 전송할 수 있도록 해주는 장비이다. 현재 제철소에서 사용되는 Reclaimer 는 길이 50여미터 정도의 크기로 레일상을 주행하는 주행부, 주행부 상단에 좌우 회전을 하는 선회부, 선회부에 부착되어 상·하 운동을 하는 부양부, 부양부 앞쪽에 설치되어 회전을 하면서 직접 원료를 불출하는 불출부 등으로 구성되어 있다.

작업자가 원료를 불출하기 위해서는 원료 불출기의 조종실에 작업자가 탑승하여 원료 야적 파일을 일정한 높이로 5~6 단으로 나누고 적절한 시작 부위를 선택하여 원료를 불출하게 된다. 원료파일을 5~6 단으로 나누는 이유는 정상적으로 쌓여져 있는 원료 파일의 높이가 15미터 정도 되고 원료불출기의 불출부의 버킷이 한번에 불출할 수 있는 높이가 3미터 정도 되기 때문이다. 원료불출기의 주행부는 주행축 방향 즉, 레일위를 주행하며, 선회부는 주행부 위에서 좌 혹은 우로 회전운동을 한다. 부양부는 유압실린더의 길이 조절에 따라 부양 중심점을 회전 중심으로 하여 상하 회전운동을 한다. 원료 불출시 조작자는 먼저 원료 불출기를 원료 파일이 위치한 곳으로 주행을 해서 이동을 한뒤, 선회 조작을 하여 불출부가 파일이 위치한 방향으로 위치시킨 다음 불출부가 원료 파일에 닿도록 불출단의 높이를 조정하는 단계를 거친다. 다음 과정은 불출부의 버킷을 회전 시키고 선회 회전축을 중심으로 좌 혹은 우로 선회를 하면서 원료를 불출하게 된다. 이 방법에서 조작자는 불출을 시작하기 위한 불출 시작점에 여러가지 조작을 하여서 도달하여야 하는데 운전실에서 불출단까지의 거리가 40여미터 정도 되기 때문에 정확한 착지점을 찾기 위해서는 숙련된 조작자도 많은 시간이 소요되는 어려운 작업이다. 선택된 파일에 대해서 불출단(불출높이)을 결정하는 방법은 원료야드의 효율을

높이기 위해서 빈 야드를 많이 확보할수 있도록 정하는 방법, 작업효율을 최대한으로 할수 있도록 정하는 방법, 단과 단사이의 폭을 일정하게 유지하게 하고 그 상단을 불출하고자 할때 Reclaimer 의 붐대(부양부)가 원료파일에 충돌하지 않게 하는 방법등이 있다. 선정된 불출단에 대해서 불출 시작점의 결정하는 방법은 한번 선회시 최대량을 불출 할 수 있는 점이 선택된다. 이러한 일련의 과정을 자동화하기 위해서는 원료야드에 적치된 원료파일의 위치, 종류, 적치량등의 정보 입력이 전산화 되어야 하고 파일의 3차원 형상정보를 알고 있어야 된다. 3차원 형상정보를 얻기 위해서 Reclaimer 의 운전실 상단에 설치된 3차원 형상 측정기를 사용하는데 이 측정기의 원리는 레이저를 사용하여 앞에 위치한 임의의 물체의 등고선 형태의 3차원 형상정보 및 거리 정보를 얻을 수 있다. 이렇게 측정된 등고선형태의 3차원 형상정보를 사용하여 최적의 불출점을 구해서 자동으로 원료를 불출하게 된다. 본 논문에서는 이러한 과정중의 핵심 부분이라고 할 수 있는 3차원 형상측정기로 검출된 3차원 원료파일의 형상을 파일의 높이 방향으로 임의로 다단으로 나누어 등고선 형태의 자료를 만들고, 불출 가능한 높이의 단을 선정한뒤 기구학적 자료를 사용하여 원료 불출착지점을 결정함으로써, 정확도를 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 자동화가 가능한 원료 불출기의 원료 불출 착지점의 결정 방법에 관한 알고리즘을 제시하고자 한다.

2. 본론

본 절에서는 Reclaimer 의 운전실에 설치된 3차원 형상측정기에서 측정되는 3차원 형상자료를 얻는 과정과 3차원 형상자료에서 불출하고자 하는 단이 선정되고, 그 단을 불출하고자 할때 최적의 효율로 불출할 수 있는 원료 불출 착지점을 결정하는 방법을 설명한다.

2.1 3차원 형상의 측정

3차원 형상측정기는 레이저 광선을 투사하고 돌아오는 광선을 감지하여 전방에 위치한 물체와 측정기 사이의 거리를 측정하는 장비이다. 3차원 형상측정기에서 측정된 전방에 위치한 물체에 대한 해상도는 가로 세로 각각 20cm 정도의 분해능을 가지고 있다. 측정된 데이터는 일반적으로 200 x 200 픽셀 정도의 크기로 픽셀 사이의 거리가 20cm 이므로 가로세로 각각 40m 사이에 있는 물체를 측정할 수 있다. 측정된 이미지(image)는 오른쪽 상단을 측정 중심으로 각 픽셀의 높이 값은 지면으로부터 높이를 나타낸다. Fig. 2 는 3차원 형상측정기로 부터 측정된 원료 파일의 200 x 200 이미지를 나타낸다.

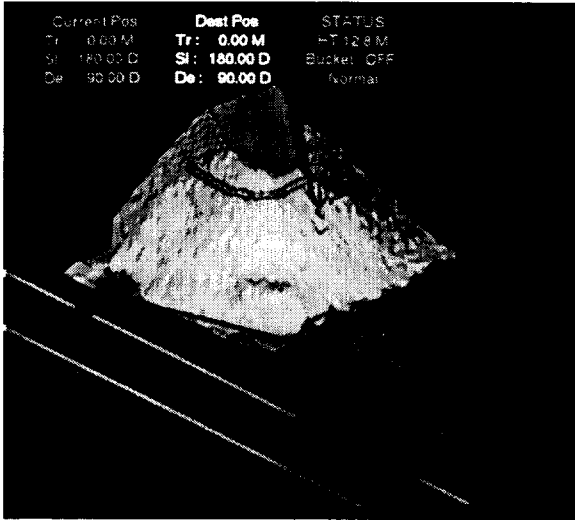


그림 1. 원료불출기와 원료파일
Fig. 1 A Reclaimer and a pile

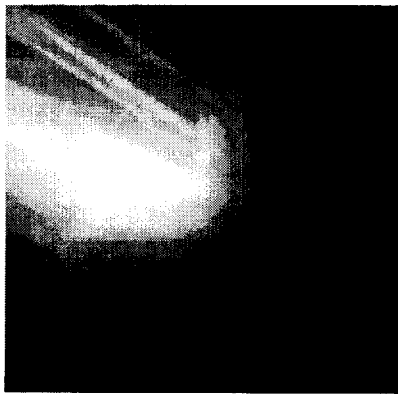


그림 2. 3차원 형상측정기가 측정한 원료파일의 이미지
Fig. 2 The image of raw material which is detected by 3D Range Finder

원료파일의 3차원 형상이 이미지 형태로 측정이 되면 바닥에서 부터 1m 간격으로 등고선 형태의 윤곽선을 추출하는 과정을 거친다. 1m 간격으로 윤곽선을 추출하는 이유는 Reclaimer 불출단의 버킷이 한번에 불출할 수 있는 원료의 깊이가 3m 이기에 이보다 좀더 해상도를 높여 추출하기 때문이다. 등고선 형태의 윤곽선은 원료파일에 있어서 같은 높이의 지점을 연결한 것이기 때문에 흔히 지도에서 보는 바와 같이 연속된 직선

형태로 나타 난다. 그림 3. 은 그림 2. 의 3차원 형상 이미지에 대해서 1m 간격으로 같은 높이의 윤곽선을 추출한 것은 표시한 것이다[1].

3차원 형상 측정기는 레이저빔을 사용하여 거리를 측정하기 때문에 일반적으로 3차원 형상측정기가 위치한 곳에서 보이지 않는 뒷면은 측정되지 않는다. 일반적으로 사람이 수작업으로 하는 경우에도 보이지 않은 부분에 대해서는 작업을 할 수 없기 때문에 3차원 형상측정기에서 뒷면이 측정되지 않더라도 자동화에는 전혀 문제가 되지 않는다.

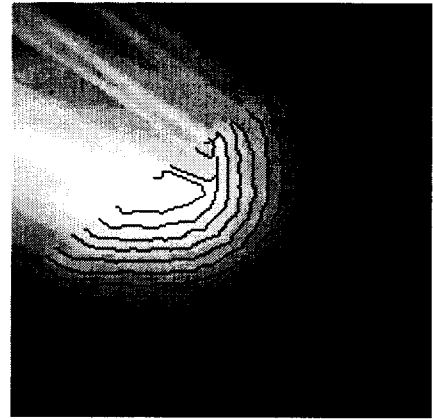


그림 3. 3m 간격으로 같은 높이의 윤곽선 추출
Fig. 3 The image after extract the same height lines

2.2 원료불출 각지점의 결정

통상의 원료 불출기가 그림 1. 에 나타나 있는데, 그림 1. 에 나타난 바와 같이, 원료 불출기는 크게 주행부와 선회부, 부양부, 불출부등 4 부위로 나뉜다. 주행부는 철도 레일상에 위치해 있으며 레일 위로 앞뒤 양방향으로만 주행 가능하다. 불출부는 버킷을 구비하여 회전을 하면서 원료를 직접 퍼올리는 부분으로, 불출점이란 원료파일위에 이 불출부의 끝단 즉, 버킷의 끝단이 맨 처음 접촉하는 점을 나타낸다. 원료 불출기에 대한 역기구학이란 임의의 높이에서 불출점이 정해 졌을 때 원료 불출기의 불출부의 버킷의 끝단이 불출점에 도달하기 위한 불출기의 주행부의 위치, 선회부의 각도, 부양부의 각도를 결정하는 것이다. 불출하고자 하는 파일의 불출단에 대한 불출점을 선정할때는 불출부가 선회 하면서 적절한 깊이로 연속해서 불출할 수 있으며, 불출 시작위치에서 불출 종료 위치까지 선회축이 회전 했을때 시작위치에서 종료위치까지의 선회각을 최대 로 할수 있는 조건들이 사용된다. 그림 4. 는 원료불출기의 불출부의 상세하게 도시한 것이다.

그림 4. 에 나타난 바와같이, 불출부의 중심에는 회전축이 구비되어 있고, 그 외부에는 원료를 불출하기 위한 회전하는 버킷이 구비되어 있다. 불출부의 버킷은 회전축을 중심으로 반시계 방향으로 회전을 하면서 원료를 불출하게 된다. 그림 4.에서 처럼 불출 시작점이 원료파일의 표면에 설정된 이유는 불출단이 선회를 하면서 원료를 불출하기 때문에 처음에는 불출하는 량이 적지만 선회 하면서 차츰 그 량이 적정량이 된다. 그림 4. 의 점 "P" 는 그림 5. 의 P_i 점에 해당되는데 Reclaimer 는 x_i 점을 중심으로 선회를 하면서 원료를 불출하게 된다. 즉 빗금친 부분이 선회를 했을때 버킷에 담겨지는 영역이다.

불출기가 원료를 불출할때 버킷이 회전을 하면서 원료파일을 파들어 가는 깊이는 광석의 종류에 따라 다르게 결정 되는데 그 광석에 맞는 적정한 깊이 보다 깊게 되는 원료불출기에 과부하가 걸리고 너무 얇게 파게 되면 원료를 불출하는 효율이 떨어 지게 된다. 회전하는 버킷의 깊이를 d (그림 4.)라고 했을 때 불출 깊이(rd)는 원료의 종류, 비중, 단위 시간당 불출량을 고려해서 미리 결정되게 되는데 d 의 일정한 비율 $k \cdot d(0 < k < 1)$ 로 표현된다. 즉 과부하를 방지하기 위해서는 다음의 조건을 만족해야 한다.

$$rd \leq k \cdot d(0 < k < 1) \quad (1)$$

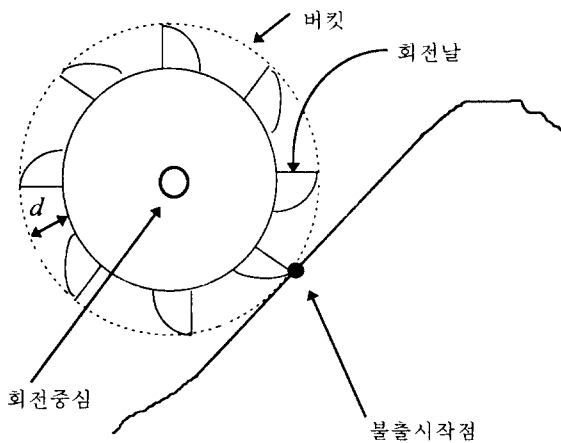


그림 4. 불출부의 상세 그림
Fig. 4. The detail figure of reclaiming part

그림 5. 는 원료불출 착지점을 결정하는 과정을 도시 하고 있는데, 연속된 점 P_1, \dots, P_n 은 그림 3. 에서 보인 등고선 모양의 외곽선을 나타낸 것이다. x_i 는 Reclaimer 가 선회를 할때 그 회전 중심이고, P_i 는 불출 시작점이며 P_i' 점은 한번 선회를 했을때 불출이 끝나는 점이다.

파일의 불출단에 대한 외곽선상의 임의의 점 P_i 와 P_i' 점에 원료 불출기의 버킷의 끝단(그림 4. 에서 점 "P")이 위치 하도록 원료 불출기의 역기구학([5])을 풀어서 결정되는 불출기의 주축의 위치점 x_i , P_i 와 x_i 를 반지름으로 하는 호를 그렸을 때 원료파일 단면과 만나는 점 P_i' 가 나타나 있다. 여기서, 호는 원료불출기가 불출을 하기 위해서 선회를 할때 불출부 버킷의 끝단이 지나가는 자취이며, P_i 점은 원료 불출기가 좌에서 우로 선회를 하면서 불출을 할 때 불출부 끝단이 처음 위치해야 할 곳이다. 불출 시작점(불출 착지점) P_i 를 결정하기 위해서는 다음과 같은 단계를 가진다.

3 차원 형상측정기로 측정된 3 차원 원료파일의 불출단 단면의 외곽선 데이터는 많은 점 $P_i(0 < i < n)$ 로 이루어진 곡선 형태를 이룬다(그림 3.). 외곽선 데이터가 연속되는 점으로 이루어지는 이유는 3 차원 형상측정기에서 데이터가 측정되는 과정에서 실제 형상의 표면을 순차적으로 근사하여 표현하기 때문이다.

이 곡선 상에서 임의의 점 P_i 를 잡고 이점에 불출부의 버킷의 끝단이 도달되도록 역기구학을 푼다. 원료 불출기에 대한 역기구학은 일반적으로 기구학에서 사용되는 방법을 사용한다.

역기구학을 풀면 원료불출기의 불출부 끝단이 불출점 P_i 에 위치하기 위해서 원료불출기의 레일축상의 점 x_i 가 계산되는데 그 값이 X 축상에 존재하면 P_i 점은 원료불출기의 불출부 끝단이 도달할수 있는 곳이고 그렇지 않으면 도달할 수 없는 곳이다.

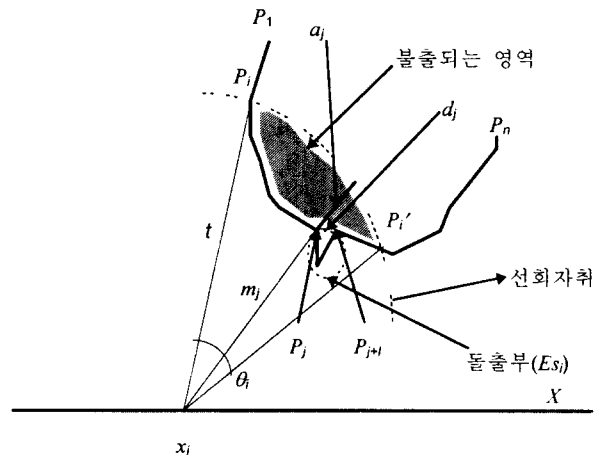


그림 5. 불출시작점을 결정하기위한 상세도
Fig. 5. The detail figure of reclaiming point

점 P_i 에 대한 x_i 가 결정되면 P_i, x_i 를 반지름으로 하는 호(선회자취)를 그린다. 호와 원료파일 단면의 외곽선과의 교점을 P_i' 이라고 하면, 호 P_i, P_i' 은 원료불출기가 x_i 점을 중심으로 선회를 했을때 불출부 끝단이 지나가는 경로가 된다. 이때 P_i 와 x_i 의 거리는 불출기의 회전축과 불출부 끝단과의 거리 t 가 된다. 호와 원료 파일의 외곽선 부분이 이루는 영역(불출되는 영역)은 불출기의 불출단이 선회할 때 버킷의 회전에 의해서 원료가 버킷에 담겨지는 부분인데 이 부분의 깊이(rd)는 그림 4. 에서 보인 거리 버킷이 깊이 d 의 일정한 비율 $k \cdot d(0 < k < 1)$ 보다 작아야 된다. $k \cdot d$ 보다 깊게 되면 불출기에 과부하가 걸리기 때문이다. 그림 2. 에서 보인 바와 같이, 새로 직치된 파일의 경우 3 차원 형상측정기에 의해서 측정된 파일의 각 단의 외곽선은 호의 형태를 갖추고 있는데, 그림 5. 의 에서 도시한 바와 같이 다른 부위에 비해서 특별히 더 튀어 나온 부분을 돌출부라고 하는데 이 돌출부는 실제 파일형상, 형상측정기의 측정오차, 노이즈 등의 원인에 의해 발생될수 있다. 이 돌출부는 그 크기가 크면 원료불출시 정속으로 선회를 하면서 불출을 할 경우 과부하가 걸리는 조건이 되지만 그 크기가 작을 경우는 그다지 문제가 되지 않는다. 이렇게 작업에 지장을 주지 않는 작은 돌출부는 무시하면 작업 효율을 높일 수 있다. 표면 자체에 무시해도 좋은 돌출부의 크기(폭)를 d_a 라고 할때 d_a 는 원료의 종류에 따라서 일정한 값으로 정의 되어진다. 즉 철광석과 같은 무겁고 단단한 광석의 경우는 그 폭이 좁고, 분광과 같이 가벼워 되어 있는 원료의 경우는 크 폭이 커질 수 있다.

먼저 정상적인 작업에 영향을 주는 돌출부를 구하기 위해, 원료파일의 외곽선위의 점 P_i 에서 P_i' 사이에 존재하는 임의의 점 P_j 에 대해서 x_i 와의 거리를 m_j , 절대값 $|t - m_j|$ 을 a_j ($a_j = |t - m_j|$) 라고 할때 $a_j > k \cdot d$ 를 만족하는 연속된 외곽선상의 점을 $P_j, P_{j+1}, \dots, P_{j+l}(l < n)$ 라고 하면 이 점들은 돌출부의 외

곡선을 이루는 점들이다. 이 돌출부의 폭은 두 점 P_j 와 P_{j+1} 사이의 거리(d_j)로 근사 할수 있는데 d_j 가 무시 가능한 돌출부의 허용폭(d_a) 보다 작으면 이점들을 P_i 에 대한 무시 가능한 돌출부로 구성된 점들의 집합 ES_i 에 포함시킨다. 즉 ES_i 는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} d_a &= \text{무시 가능한 돌출부의 허용폭} \\ m_j &= \text{distance}(P_j, x_i) \\ a_j &= |t - m_j| \\ ES_i &= \{ P_j \mid a_j > k \cdot d \} \end{aligned} \quad (2)$$

이때 돌출부의 허용폭(d_a)은 원료파일의 광석종류등에 의해서 변화될수 있다. 과부하가 걸리지 않는 범위 내에서 P_i 점을 불출 시작점으로 해서 불출을 할려면 돌출부로 구성된 점들의 집합 ES_i 에 포함되지 않은 모든점 P_j 에 대해서 a_j 의 최대값을 a_{max} 라고 했을때 $a_{max} < k \cdot d$ 의 조건을 만족해야 한다.

위의 조건을 만족하는 3개의 점 P_i, x_i, P_i' 이 이루는 호를 S_i 로 보면 이 호가 이루는 각도는 θ_i 로 표현되고 이각도는 원료 불출기가 한번의 선회조작으로 원료를 불출할 수 있는 각도를 의미한다.

$$\begin{aligned} a_{max} &= \text{MAX} \{ a_j \mid P_i \notin ES_i \} \\ S_i &= \{ \text{points set of } P_i, x_i, P_i' \mid a_{max} < k \cdot d \} \end{aligned} \quad (3)$$

따라서 한번의 조작으로 최대한의 원료를 불출하고자 하면 집합의 요소 $S_i(0 < i < m, m > 1)$ 중에서 호가 이루는 각도 θ_i 가 최대인 것을 찾는다. θ_i 가 최대인 집합의 요소를 S_{max} . 그 구성요소를 P_m, x_m, P_m' 라 할때 P_m 를 불출 시작점으로 하면 원료 불출기는 한번의 회전으로 최대의 원료를 불출할 수 있다.

$$\begin{aligned} \theta_i &= \text{angle of } P_i, x_i \text{ and } P_i' (\in S_i) \\ S_{max} &= \{ S_j \mid \text{MAX}(\theta_i) \} = \{ P_m, x_m, P_m' \} \\ \text{불출 착지점} &= P_m \end{aligned} \quad (4)$$

따라서 최적의 불출착지점을 찾기 위한 알고리즘은 다음과 같이 정리 된다.

```

SET OutLine = { P1, P2, P3, ..., Pn }
SET da = 무시 가능한 돌출부의 허용폭
SET k = 해당광석에 대한 최대 불출 깊이 곱 상수
FOR i = 1 TO n
BEGIN
  xi = Pi의 역기구학점
  호를 그려 Pi' 계산
  t = distance(Pi, xi)
  SET ESi = Empty
  FOR j = 1 TO n
  BEGIN
    mj = distance(Pj, xi)
    aj = |t - mj|
    IF aj > k · d THEN ESi = ESi ∪ Pj // 돌출부 Set 계산
  END

```

```

SET amax = 0
FOR j = 1 TO n
BEGIN
  IF (Pi ∉ ESi AND amax < aj) THEN amax = aj
END
IF (amax > 0 AND amax < k · d) THEN
  Si = { points set of Pi, xi, Pi' }
ELSE Si = Empty
θi = angle of Pi, xi and Pi' ( ∈ Si )

```

```

END
θm = 0
Smax = Empty
FOR i = 1 TO n
BEGIN
  IF θm < θi THEN Smax = Si
END
불출착지점 = Pm, where Smax = { Pm, xm, Pm' }

```

위 알고리즘에서 구해진 P_m 의 경우는 Reclaimer의 불출단이 좌에서 우로 선회한다고 가정한 것이다. 만약 우에서 좌로 즉 반시계 방향으로 선회를 하게 되면 P_m' 이 불출 착지점이 된다.

3. 결론

본 논문에서는 현재 수작업에 의존하고 있는 원료불출 Reclaimer를 자동화 하기위해서 그 핵심 기술인 최적의 착지점을 구하는 알고리즘을 제시 하였다. 약 50m 전방에서 사람의 육안으로 관찰하여 적절한 착지점을 찾고 수동운전하여 그 지점에 착지하는 것을 수학적으로 정확히 계산하여 자동 착지할 수 있는 방안을 제시한 것이다. 본 알고리즘은 광양 제철소 원료공장의 Reclaimer에 적용하여 현장 적용 테스트를 한바 있다.

향후 보다 보완 하여야 할 점은 측정장비의 오차등으로 인해서 발생하는 돌출부에 관해서 보다 지능적으로 대처 할 수 있는 알고리즘이 추가 되어야 할것이다. ■

참고문헌

- [1] H. S. Ahn, C. C. Choi, K. H. Lee, Y. H. Ha, "Automation of a Reclaimer Using Global and Local Range Finding Systems", SPIE, vol. 2665, pp 26-35, 1996.
- [2] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, "Digital Image Processing", Addison Wesley, 1993.
- [3] Samuel D. Conte, Carl de Boor, "ELEMENTARY NUMERICAL ANALYSIS An Algorithmic Approach", McGRAW-HILL, 1980.
- [4] Hanan Samet, "The Design and Analysis of Spatial Data Structures", Addison Wesley, 1990.
- [5] 신기태, 안현식, 이관희, 엄영일, "구속조건을 갖는 여유자유도 로봇의 역기구학해", KACC, vol. 1, pp. 228-231, 1995.