

불출기의 원격운전 시스템 개발

Development of Tele operation System of Reclaimers

°신기태*, 최진태*, 안현식*, 이관희*

*포항산업과학연구원(Tel : 0562-279-6727, FAX : 0562-279-6599, E-mail: ktshin@tintoy.rist.re.kr)

°K.T. Shin*, C.T. Choi*, H.S. Ahn*, K.H. Lee*

*RIST(Reserch Institute of Industrial Science and Technology)

Abstracts : In this paper, we suggest tele operation system of reclaimers and some side technologies for performing easy operation. The reclaimers in the raw ore yard are being used to dig ironstone and transfer it to the blast furnaces. The side technologies are to determine the minimum stacking distance between piles, collision avoidance of reclaimers and stackers. For simplicity, the pile and the boom of the reclaimer are mathematically modeled as a cone and a line in the 3-dimensional space respectively. The minimum stacking distance is obtained using the condition that the cone and the line never met. The modeling errors for the pile and reclaimers are compensated by considering the width of their reclaimer. We have also proposed a 2-stage collision detection method for the moving machines. The reclaiming heights of the pile are set to predetermined ones to make tele-operation easy.

Keywords : Reclaimer, Remote operation, Collision avoidance, Stacking distance, ores pile

1. 서론

과학과 문명이 발달한 현대 사회에서도 아직도 여러 분야에서 열악한 환경속에 사람이 직접 뛰어들어 일하고 있는 경우가 많다. 열악한 환경 속에서 사람이 직접 일하는 것은 자동화가 어렵거나 사람의 개입이 필요한 분야 또는 자동화했을 때 경제성이 없는 경우가 대부분을 이룬다. 한편 완전히 자동화가 실현되더라도 시시각각으로 변하는 상황에 기계가 자동으로 대처 불가능하기 때문에 사람이 개입할 필요가 있으며 또 완전 자동화가 불가능한 곳에는 차선의 선택으로 사람의 사고가 개입된 기계장치가 사용될 수 있다. 그리고 이렇게 사람이 개입되는 장치 중에는 열악한 작업 현장과 멀리 떨어진 운전실에서 작업현장을 실시간으로 카메라로 촬영한 영상을 보면서 운전실 내의 조작 레버나 조이스틱 또는 마스터-슬레이브 시스템인 경우에는 슬레이브를 운전자가 직접 움직여서 조종하는 원격 운전이 있다. 원격 운전은 완전 자동화된 시스템의 비상 상태를 대비한 조작 시스템으로 구축하는데도 이용된다. 현재 산업계에는 이러한 노력에 의해 열악한 작업 환경이 점차적으로 개선되어 가고 있다.

본 연구는 작업 환경이 열악한 제철소의 원료공장에서 운전되는 불출기의 원격 운전 시스템을 개발함에 있어 그 시스템의 구성 및 기반 기술에 관한 것이다. 원료공장은 철광석의 분광과 석탄 등을 쌓아 놓아 철광석 입자나 코크스 입자 등의 먼지가 날려서 장기간 호흡하는 경우 건강을 악화시킬 수 있으므로 불출기에 직접 탑승하여 운전하기에는 적합하지 않다. 따라서 원료야드와는 멀리 떨어진 운전실에서 여러 가지 센서 정보나 카메라 정보를 참조하여 운전자가 직접 조이스틱을 이용하여 조작하는 원격운전 시스템의 구축은 반드시 필요하다. 그리고 이러한 원격운전 시스템을 구축하기 위해서는 하드웨어 구성뿐

만 아니라 원격운전을 원활하게 수행하기 위한 기반 기술에 대한 연구가 필요하다. 기반 기술로는 원료 파일의 불출시 원료 파일과 불출기의 충돌을 방지하기 위해서 적절한 원료파일의 적치 간격의 설정에 관한 연구와, 원료야드 내에서 움직이는 타 이동기기와의 충돌을 체크하여 충돌을 방지할 수 방법, 보다 간편한 원격 운전을 위하여 불출단 높이의 결정 및 자동선회 변경 등의 불출 작업방법에 관한 연구가 요구된다.

2. 불출기의 원격운전 시스템

원격운전을 위한 시스템은 그림 1에서 나타낸 바와 같이 크게 HP 컴퓨터, 2대의 VME 시스템(VME #1, VME #2), 원격조작용 책상, 무선 이더넷(Ethernet) 장비, PLC로 구성된다. HP는 원격운전 시스템의 GUI(graphic user interface)부분을 담당하는 컴퓨터로서 모든 불출기의 조작상황을 그래픽으로 처리한 판별을 운전자에게 제공하여 쉬운 조작이 가능하도록 한다. 즉 각 기기간의 네트워크(Network) 제어, 불출기의 현재 상태 및 목표 위치의 그래픽 표시, 원격운전 및 상태감시 등의 기능을 수행한다. 무선 이더넷은 중앙운전실 주제어기와 현장의 불출기 간의 여러 가지 데이터를 무선으로 고속 실시간 통신을 수행한다. 무선의 장점은 별도의 데이터 라인의 설치없이 효율적인 자료의 전송과 오류가 나는 부분을 찾기 쉬어 유지 보수가 간단하다. VME #1은 원격 운전시에 필요한 조이스틱(joystick) 등의 I/O를 처리하며, 비상상태 발생시 불출기를 비상정지 기능을 수행할 수 있도록 비상정지 I/O를 처리한다. 또 주변의 이동기기들의 위치정보를 PLC(CP-315)로부터 입력받아 이들 기기들간의 충돌 가능성을 체크하여 충돌을 방지하는 기능을 수행하는 프로세스를 실행한다. VME #2는 VME #1에서 입력받은 I/O 데이터를 바탕으로 불출기의 위치제어 및 각종 알고리즘을 수행하고 레이저 센서와의 인터페이스 및 제어도 담당한다.

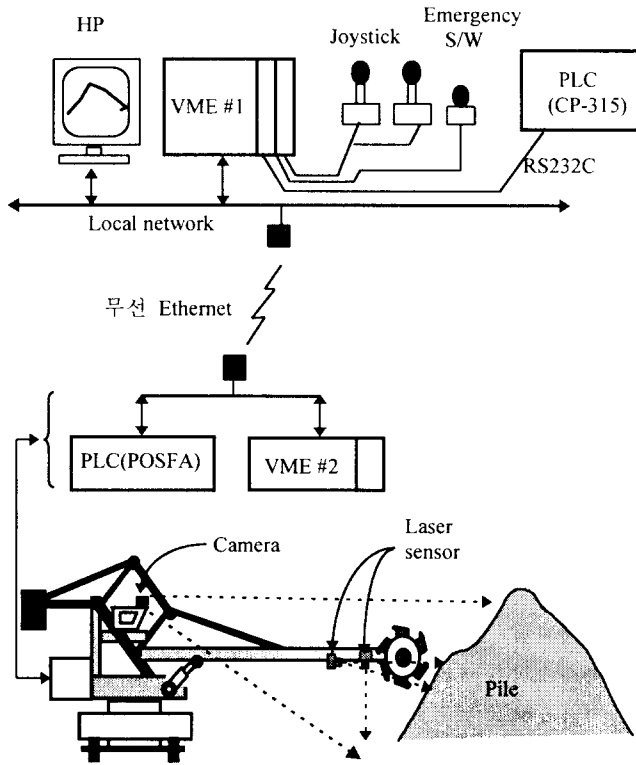


그림 1 원격운전 시스템의 구성도

3. 원격운전을 위한 기반 기술

3.1 원료 파일간의 적치 간격에 관한 연구

불출기가 선회를 하면서 불출작업을 수행하는 경우에 불출기의 붐(boom)과 인접 원료파일이 충돌하는 경우가 발생할 수가 있다. 물론 조작자가 카메라로 수시로 감시하면서 충돌 발생 가능성을 조사하면 되겠으나 그럴 경우에는 운전자의 지속적인 감시가 필요하여 1명의 운전자가 여러대를 동시에 운전해야 되는 경우에는 감시의 어려움이 뒤따른다. 따라서 불출시 선회를 하더라도 불출기의 붐과 원료파일이 충돌하지 않는 원료파일간의 적치 간격을 미리 계산하여 원료파일을 쌓아 두어 혼자서도 여러대의 불출기를 쉽게 감시 운전할 수 있도록 해야

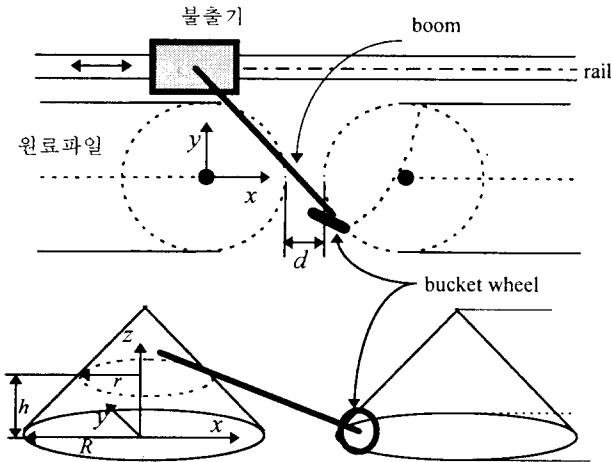


그림 2 원료파일의 모델링

된다. 그림 2는 원료야드에서 원료를 불출하는 상황을 간단하게 나타낸 것이다. 여기서 불출작업시 두 개의 인접한 원료파일과 불출기의 붐이 충돌할 가능성을 배제할 수 있는 원료파일 사이의 적치 간격을 구하기 위해서 원료파일을 2개의 원뿔로 모델링 하였다. 그림 2에서 최적의 적치간격을 구하기 위해서 하나의 원뿔의 하단중심에 좌표계(xyz)를 설정하고 불출기의 붐은 선으로, 버킷 휠(bucket wheel)은 원으로 모델링하였다. 물론 선으로 모델링 된 경우 그 결과가 실제의 경우보다 다를 수 있으나 붐의 두께나 폭의 크기만큼 보상하면 된다.

먼저 원뿔을 수학적으로 표현하기 위하여 z 방향의 높이에 따라 반지름 r의 크기를 구한다. 원뿔의 높이 즉 원료파일의 높이는 실제 현장에서 사용되는 수치로서 17m 이고 이 때의 높이 h에서의 반지름 r의 크기와 원뿔에 대한 수학적 표현은 다음과 같다.

$$x^2 + z^2 = r(h)^2 \quad (1)$$

$$(x - (2R - d))^2 + z^2 = r(h)^2 \quad (2)$$

$$\text{여기서, } r(h) = \frac{R(17 - h)}{17}$$

인접한 원료파일과 붐의 충돌은 대부분 원료파일의 맨 아래단 즉 최 하단을 불출할 때 발생한다. 따라서 최하단에서 충돌을 피할 수 있도록 적치간격을 적절히 설정하면 다른 경우에 대해서는 고려하지 않아도 된다. 최소 적치간격은 그림 3에서와 같이 선회축과 상하요동축의 교점의 궤적상의 점 A와 불출기의 선회에 의한 불출작업이 진행될 때 선회의 끝지점에서 버킷의 회전중심축이 움직이는 궤적상의 점을 잇는 직선이 인접한 원뿔과 접할 때의 간격을 찾아 붐의 두께와 폭을 고려하여 보상하면 구할 수 있다. A 점은 y축과 z축의 값이 고정되어 있고 단지 x의 변화에 따른 좌표가 된다. 즉 상하요동축의 중심은 원료 바닥으로부터 일정한 높이에서 주회축을 따라 움직이기 때문이다. 반면에 B 점은 z축의 값이 고정되어 있고 x, y의 변화에 따라 좌표값이 변하게 된다. 원뿔의 최하단의 원을 점 B의 높이까지 사상시키면 불출 작업시 선회변경이 일어나는 지점에서의 버킷 휠의 중심점들의 궤적이 된다.

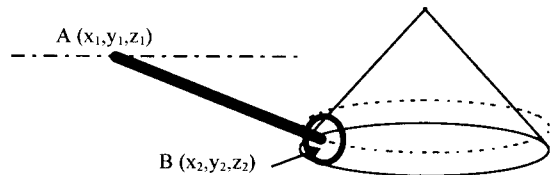


그림 5 붐과 원료파일의 모델링

여기서, 점 A는 $y_1 = 32.1 \text{ m}$, $z_1 = 9.2 \text{ m}$ 이고, 점 B는 원료파일을 대표하는 con 2의 최하단의 원을 3.05m 위로 투영시킨 원상에 존재하는 점으로써 변화의 범위는 45° 에서 -45° 사이의 점으로 $z_2 = 3.05 \text{ m}$ 이다. 따라서 점 A, B사이의 관계는 다음과 같다.

$$(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2 = 48^2 \quad (3)$$

그리고 공간상의 두점 A, B를 지나는 직선의 방정식으로부터 x, y, z사이의 관계가 정립된다.

$$\frac{x - x_2}{x_1 - x_2} = \frac{y - y_2}{y_1 - y_2} = \frac{z - z_2}{z_1 - z_2} \quad (4)$$

식 (3)에서 y_1, y_2, z_1 및 z_2 는 모두 주어진 값이므로 $x_1 - x_2$ 의 관계를 구할 수 있다.

$$(x_1 - x_2)^2 = 48^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 \quad (5)$$

그림 4는 두개의 원뿔의 밑면과 반지름 R 및 구하고자하는 적치간격 d 를 이용하여 기준좌표계에 대한 x_2, y_2 의 관계를 나타내고 있다.

$$x_2 = 2R - R\cos\theta + d = R(2 - \cos\theta) + d \quad (6)$$

$$y_2 = -R\sin\theta \quad (7)$$

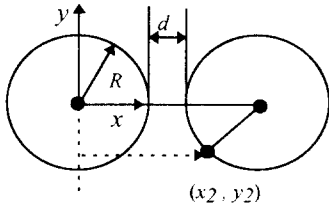


그림 4 (x_2, y_2) 의 기구학적 위치관계

식 (4)로부터 x, y 를 계산한다.

$$x = x_2 + (x_1 - x_2) \frac{z_1 - z_2}{z_1 - z_2} \quad (8)$$

$$= R(2 - \cos\theta) + d + (x_1 - x_2) \frac{z_1 - z_2}{z_1 - z_2}$$

$$y = y_2 + (y_1 - y_2) \frac{z_1 - z_2}{z_1 - z_2} \quad (9)$$

식 (8), (9)에서 구한 x, y 를 다음의 이웃한 원뿔의 식에 대입하여 z 의 방정식으로 정리하면 다음과 같다.

$$x^2 + y^2 = \frac{R^2(17 - z)^2}{17} \Rightarrow az^2 + bz + c = 0 \quad (10)$$

식 (10)은 2차 방정식으로 직선과 원이 접하기 위해서는 오직 한 점에서 만나야 하므로 중근을 가진다. 즉, $b^2 - 4ac = 0$ 을 만족해야 하는데 이때의 d 값이 최소의 적치간격과 관련된 다.

이상의 방법으로 시뮬레이션한 후 붐의 두께와 넓이를 보강한 결과 최하단을 불출할 때 불출기의 붐이 인접 파일과 충돌하지 않을 최소의 적치 간격은 약 7m였다. 그런데 이 결과는 아주 좁은 제철소의 원료야드 상황을 고려한다면 너무 크다. 물론 충분히 넓은 원료야드가 존재한다면 충돌이 일어나지 않을 만큼 충분히 넓게 원료를 적치하면 되지만 제한된 공간 내에서 충분한 제고량을 확보해야 하기 때문에 아래의 방법을 적용한다. 불출기는 불출대상 원료파일을 높이에 따라 3m 단위로 원료야드 바닥으로 1단, 2단씩 단위로 패턴화하고 각 단에

표 1 적치간격에 따른 불출 작업 순서

적치간격	충돌 여부	작업 순서
1m	충돌가능	인접파일의 3단 불출후 2단 불출 인접파일의 2단 불출후 1단 불출
3m	"	인접파일의 2단 불출후 1단 불출
5m	"	인접파일의 2단 불출후 1단 불출
7m	충돌안함	관계없음

대해서 불출하므로 작업 패턴과 관련하여 생각하면 더욱 좁은 적치간격으로도 해결할 수 있다. 즉, 적치간격을 미리 원하는 크기만큼 설정한 다음 그 때의 충돌여부를 앞에서 제시한 방식대로 조사한 후 불출작업의 순서를 조정하여 충돌을 회피하는 방법을 사용한다. 그 결과는 표 1과 같다.

3.2 각 이동기기간의 충돌회피 방법

불출기를 원료야드와 멀리 떨어진 중앙운전실에서 원격운전할 때에는 불출기 상단에 부착되어 있는 Camera에 의해서 제공되는 제한된 시각정보만 가지고 있기 때문에 주변의 상황을 알 수 없다. 즉 주변의 불출기나 스택커 등 이동기기의 이동에 따른 기기기간의 충돌 가능성이 있다. 따라서 운전자가 안심하고 운전을 수행하기 위해서 전체 원료야드에 대한 각각의 이동기기에 대한 위치정보를 종합하여 기기기간의 충돌가능성을 미리 검토한 후 충돌의 위험이 있을 경우에는 운전자에게 알려야 한다. 그림 5는 원료야드내의 이동기기의 분포를 나타낸 것으로 이동기기를 둘러싸는 원은 각각의 이동기기의 붐이 수평상태에서 회전하였을 때 그리는 원이다. 1개의 레일에는 2개의 이동기기가 있는데 불출기 2대, 스택커 2대씩 번갈아 설치되어 있다.

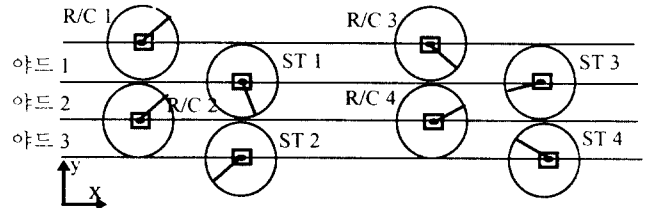


그림 5 원료야드내의 이동기기의 분포

모든 충돌은 2대의 이동기기 사이에 발생하므로 원료야드 전체 이동기기의 충돌 방지 문제는 2대의 이동기기 사이의 충돌 방지법을 확장 적용하면 된다. 2대의 이동기기 사이의 충돌여부는 이들 사이의 직선거리를 조사하므로써 검색 가능하다. 이를 위해 PLC로부터 전체 이동기기에 대한 위치 정보를 입력 받은 후에 원료야드내의 절대좌표계(xyz)에 대한 위치로 변경하여 2대의 이동기기 간의 직선거리를 조사한다. 그림 6은 2개의 이동기기 사이의 위치관계를 나타낸 것으로서 회전 중심점 사이의 거리 D는 아래와 같다.

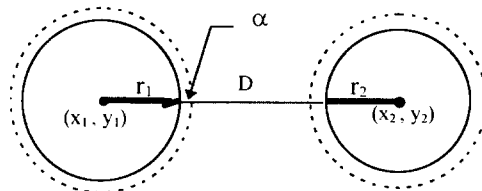


그림 6 2개의 이동기기 사이의 위치관계

$$D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (11)$$

그런데 그림 6과 같이 최대 회전 반경보다 α 만큼 여유를 주어 충돌 가능성을 조사하는 이유는 이동기기의 속도를 고려하여 충돌발생시 충분히 제동 가능하도록 하기 위해서이다. 2개의 이동기기 사이의 충돌은 거리 D가 r_1, r_2 그리고 여유분 2α 를 합한 거리보다 큰 경우와 작은 경우에 대하여 생각할 수 있다. 먼저 큰 경우에는 충돌 가능성 없기 때문에 진행중인 작업을 계속 수행해도 무방하나 작은 경우에는 충돌 직전이므로 다음 단계의 충돌 검색을 한다.

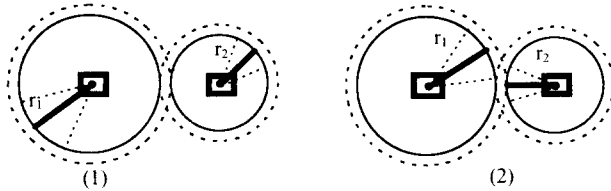


그림 7 선회각도에 따른 이동기기의 위치관계

그림 9의 (1)에서와 같이 이동기기의 선회축 중심점사이의 거리 D 가 $(r_1 + r_2 + 2\alpha)$ 보다 작더라도 점선으로 표시한 것과 같이 작업대상 영역이 서로 다른 경우 즉 선회각도가 크게 차이나는 경우에는 충돌가능성이 없으므로 작업을 허용하지만 D 가 $(r_1 + r_2 + 2\alpha)$ 보다 작고 작업대상 영역이 서로 겹치게 되면 충돌 발생 가능성이 있으므로 작업을 중단해야 된다.

이상에서 제시한 2개의 이동기기 사이의 충돌 회피 방법을 확장하면 전체 이동기기 간의 충돌을 방지할 수 있다. 그림 2에서와 같이 각 야드간의 거리가 스택거와 불출기의 최대 회전 반경보다 크므로 야드 1의 이동기기와 야드 3의 이동기기의 충돌문제는 고려할 필요가 없다. 그러나 이웃하는 야드, 즉 야드 1과 야드 2 또는 야드 2와 야드 3의 이동기기는 충돌이 일어날 수 있으므로 고려하여야 한다. 전체 충돌검색은 예를 들어 R/C 1의 경우에는 R/C 3, ST 1, ST 3과 같이 모든 가능한 경우에 대하여 조사해야 된다. 조사결과 이동기기 사이에 충돌 가능성이 있을 경우에는 그 정도에 따라 운전자에게 경고를 내어주거나 자동으로 시스템을 정지시킬 수 있도록 한다.

3.3 불출단에 따른 상하요동축의 각도

불출기로 불출하고자 하는 원료파일을 일정한 높이 간격으로 몇개의 단으로 설정하고 설정된 불출단의 높이에 따라 작업이 수행될 수 있도록 불출작업을 패턴화 하면 운전이 쉬워진다. 즉 불출단의 높이에 따라 불출기의 상하요동축 각도를 미리 결정하여 원료파일의 불출단에 접근할 때 상하요동축의 각도가 자동으로 제어되도록 하면 운전이 간단해질 뿐만 아니라 운전 조작시간 또한 단축할 수 있다. 그림 8은 불출해야될 단의 높이에 따라서 상하요동축의 각도 θ_b 의 각도가 달라져야 함을 보여 주는데 각 단에 따른 상하요동축의 각도 θ_b 를 시뮬레이션하면 그 결과는 표 2와 같다.

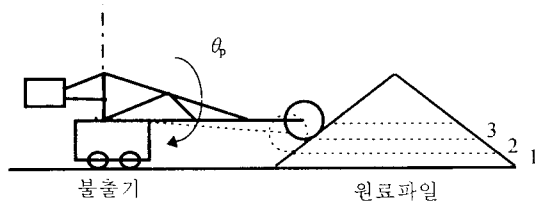


그림 8 불출기와 원료파일

표 2 단의 높이에 따른 상하요동축의 각도

높이	θ_b	높이	θ_b
3 m	81.89°	12 m	93.11°
6 m	85.65°	15 m	96.85°
9 m	89.38°		

3.4 자동 선회방향 변경 및 인칭 작업

불출기를 작업대상 원료파일의 원하는 단에 착지시킨 후에는 계속 선회와 인칭이동을 반복하면서 설정된 목표량을 불출하는 작업만 계속되므로 운전자의 사고를 필요로 하지 않는다. 그리고 운전자가 직접 불출속도나 원료파일의 끝단에서의 선회변경, 인칭이동 작업 등을 조작하려면 계속적인 감시가 필요하

로 1명의 운전자가 동시에 여러 대의 운전이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 자동으로 선회방향의 변경 및 인칭 작업을 수행하면서 설정된 양만큼 불출하도록 한다. 그림 9에서 보는 바와 같이 붐의 하단에 2개의 레이저 센서(laser sensor)를 설치하여 원료파일과 버킷과의 거리를 측정할 수 있도록 하였다. 선회의 자동변경은 붐의 양단에 설치되어 있는 레이저 센서의 측정치가 설정치보다 큰 경우, 즉 버킷 휠까지의 거리보다 큰 경우에는 한다. 왜냐하면 이 때는 원료파일의 끝까지 불출한 것으로 생각할 수 있기 때문이다. 인칭이동은 선회변경 이전에 주행축을 일정한 폭만큼 전진하는 것을 의미한다.

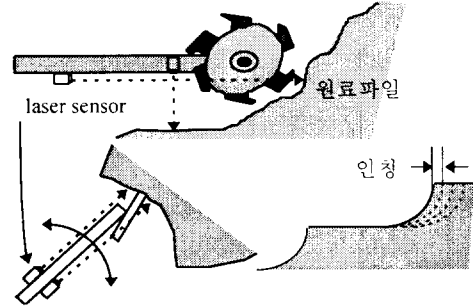


그림 9 자동 선회변경을 위한 장치와 개념도

4. 결론

본 연구는 불출기의 원격운전 시스템의 하드웨어적인 구성 및 기반 기술에 대하여 기술하였다. 기반 기술로는 원료파일의 불출시에 원료파일과 불출기의 충돌을 방지하기 위해서 적절한 원료파일의 적치간격의 결정방법에 관한 연구와, 원료야드 내에서 움직이는 이동기기간의 충돌을 방지할 수 있는 방법에 관한 연구를 수행하였다. 그리고 불출단의 높이를 자동제어하기 위한 상하요동축 각도를 결정하였고, 자동으로 선회변경을 위한 시스템 구성과 방법 등의 불출 작업방법에 관한 연구를 수행하였다. 이상에서 제시한 여러 가지 방법을 적용하여 불출기의 원격운전 시스템을 구축하였을 때, 운전자는 운전실에서도 모니터에 나타나는 정보만으로 쉽게 불출기를 운전할 수 있다.

참고문헌

- [1] N. Toshiya, U. Yoshinori, O. Kiminori, I. Shoji and Y. Sumio, "Method for remote automatic operation of reclaimer" Patent No: JP 1242322
- [2] K. S. Fu, R.C. Gonzalez and C.S.G. Lee, *ROBOTICS*, McGraw-Hill NewYork, 1987.
- [3] G. Strang, *LINEAR ALGEBRA AND ITS APPLICATIONS*, HBJ, Inc., 1988.
- [4] 최진태, 안현식, 이관희, 염영일, "레이저 형상 측정기에 의한 원료불출 원격 조작과 자동화", '94 KACC, pp18-23., 1994