

2003 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

핫셀용 알파-감마형 원격조종기 개발

Development of α - γ Type Manipulator for Hot Cell

정신검

한국차폐기술주식회사

경북 경산시 진량읍 신상리 1193-3

이은표

한국원자력연구소

대전시 유성구 덕진동 150

요 약

고 방사선을 방출하고 공기 중에서 산화가 급격히 일어나는 물질을 취급하기 위하여 핫셀 내부를 불활성 가스로 충전하는 핫셀에서 사용되는 원격조종기를 개발 완료하였다. 이미 개발이 완료되어 판매가 이루어진 베타-감마형 원격조종기에 이어 알파-감마형 원격조종기의 개발에도 성공함으로써 핫셀의 크기 및 용도에 맞는 베타-감마형 및 알파-감마형 원격조종기를 모두 설계.제작할 수 있는 능력을 국내 최초로 보유할 수 있게 되었다. 이러한 원격조종기의 개발을 통해 국내에서 사용되는 원격조종기의 유지보수에 신속한 대응 및 그 동안 수입에만 의존한 원격조종기를 국산품으로 대체함으로써 상당한 외화 절감효과를 얻을 수 있게 되었을 뿐만 아니라 수출도 기대할 수 있게 되었다.

Abstract

To handle the high level radio-active materials in a sealed type Hot Cell, our company has developed the alpha-gamma type manipulators successfully. This successful development of an alpha-gamma type manipulator means our company has all capacity to design and fabricate the alpha-gamma type manipulators as well as the beta-gamma type manipulators developed already. Until now all manipulators in Korea were imported from other countries. The advantages of development of manipulators are to maintain the manipulators easily and quickly, and to buy cheaper than before. It may be also considerable to export the developed manipulators to overseas.

1. 서론

고 방사성 물질은 작업자의 방사선 피폭을 최소화하기 위하여 방사선 차폐가 이루어진 핫셀 내에서 취급하여야만 한다. 핫셀 내의 고 방사성 물질을 원격으로 취급하기 위한 장비로서 원격조종기가 사용된다. 원격조종기는 작업자가 Master 쪽의 손잡이를 움직여서 똑같은 운동을 Slave 쪽의 Tong에 전달할 수 있는 구조로 만들어져 고 방사성 물질을 취급하는 핫셀에서는 필수적인 장비에 속한다.

본 사에서는 이미 베타-감마형 원격조종기를 개발하여 한국원자력연구소 및 원자력병원에 납품한 바 있다. 공기 중에서 산화가 급격히 일어나는 방사성 물질을 다루는 알파-감마 핫셀에서는 방사성 물질의 산화를 방지하기 위하여 핫셀 내부를 불활성 가스로 충전하여야 할 뿐만 아니라 작업 도중 Slave arm 및 Master arm에서 고장이 발생하였을 경우 핫셀 내의 불활성 가스 분위기를 파괴시키지 않고 Slave arm 및 Master arm을 교체할 수 있는 구조로 된 원격조종기가 필요하다. 알파-감마 핫셀에서 사용할 수 있는 원격조종기는 핫셀 벽에 삽입된 Seal tube 부분에서 완전한 실링이 이루어지고 Slave arm 부분과 Master arm 부분이 Seal tube로부터 탈부착 될 수 있어야 한다.

알파-감마형 원격조종기의 개발에 성공함으로써 핫셀의 크기 및 용도에 맞는 원격조종기를 설계/제작할 수 있는 능력을 국내 최초로 보유할 수 있게 되었다. 본사에서 개발한 원격조종기는 성능 면에서 외국산과 거의 동등하며, 모든 부품을 모듈화하고 국내에서도 쉽게 구할 수 있는 부품을 적용하여 지속적인 사용에 따른 부품교체를 용이하게 하였다.

2. 원격조종기의 설계요건

원격조종기는 작업자가 Master 쪽의 손잡이를 움직임에 따라 1:1의 똑같은 운동을 Slave 쪽의 Tong에 전달할 수 있는 구조로 되어야 한다. 또한 각 운동부의 관성을 최소화하기 위하여 튜브 및 블록 등은 알루미늄 재질에 표면처리를 하고, 그 밖의 부품은 부식을 방지하기 위하여 스테인리스 재질을 사용하며, 마찰저항을 최소화하기 위하여 로울러 베어링 등을 사용한다. 원격조종기에 사용된 Master arm과 Slave arm의 Boom tube는 일정한 형상을 갖는 튜브로서 형상에 맞는 여러 종류의 금형을 제작한 후 Al6061-T6의 재질로 인발하여 사용한다. 운동을 전달하는 중간 매개체는 인장강도가 충분하고 곡률반경이 적은 19본선 7꼬임 공심 $\varnothing 1.6$ mm Stainless wire를 사용한다.

원격조종기는 크게 작업자 영역에 위치한 Master 부분, 핫셀 차폐벽 속에 삽입되어지는 Seal tube 부분, 핫셀 내부에 위치한 Slave 부분으로 나누어지며, 그 운동은 Tong motion, Elevation & Twist motion, Azimuth motion, Z motion 및 Counterbalance, X-Y motion 및 Balance weight, 그리고 Locking system 등으로 구성되어야 한다.

특히 Seal tube 부분은 핫셀 내부와 외부 사이를 완전한 Sealing이 이루어지는 구조일 뿐만 아니라 각각의 동력을 전달하여야 하고 Master arm부와 Slave arm부가 Seal tube로부터 탈부착 될 수 있는 구조로 되어야 한다.

3. 원격조종기의 기능 및 구조

3.1. Tong motion

Tong motion은 Master 쪽의 Mechanical pistol grip의 운동을 중간 매개절인 Wire, 동력전달 축 및 Wire 드럼에 의하여 Slave 쪽에 위치한 Tong grip을 작동시켜 핫셀 내의 고 방사성 물질을 집을 수 있다. Slave 쪽에는 Take-up spring을 설치하여 작동 중 이완된 Wire가 Pulley로부터 벗어나는 것을 방지하였다. 또한 Mechanical pistol grip에는 Latchet locking 장치가 있어 Tong grip을 고정하거나 해제시킬 수 있다.

3.2. Elevation & Twist motion

Elevation & Twist motion은 Master 쪽의 손잡이의 운동에 의한 Wrist joint의 회전 및 각 운동을 중간 매개절인 Wire, 동력전달 축 및 Wire 드럼에 의하여 Slave 쪽에 위치한 Wrist joint에 운동을 전달하여 Tong이 회전 및 각 운동을 가능하게 한다. Wrist joint의 Twist motion은 피니언 기어가 수평 아래 38°의 중립위치에서 시계방향 및 반시계방향으로 180°이며, Wrist joint의 피니언 기어의 elevation은 수평 아래 38°중립위치에서 상.하 방향 78°의 범위로 회전한다. Elevation & Twist motion은 중간 매개절로 4가닥의 Wire, 동력전달 축 및 Wire 드럼에 의하여 운동이 전달되고, Wrist joint 내에서는 내구성을 향상시키기 위하여 Sprocket 및 Chain을 사용하였으며, 특히 Slave 쪽에는 Take-up spring을 설치하여 작동 중 이완축 Wire가 Pulley로부터 벗어나는 것을 방지하였다.

3.3. Azimuth motion

Azimuth motion은 Master 쪽 Boom tube의 회전력을 Slave 쪽 Boom tube에 전달하는 것으로서 2가닥의 Wire, 동력전달 축 및 Wire 드럼에 의하여 운동이 전달된다. Boom tube 하단에 끼워진 wire drum은 Boom tube의 상하 운동을 위한 가이드의 역할도 겸하고 있다. Azimuth motion의 회전각은 중립위치에서 시계방향 및 반시계방향으로 175°이다.

3.4. Z motion 및 Counterbalance

Z motion wire는 Master drum 및 Slave drum에 각각 감기며, 두 Drum은 서로 베벨기어 의하여 연결되어 있다. Master boom tube와 Slave boom tube의 행정은 핫셀의 크기 및 용도에 따라 1:1 또는 그 이상의 비율로 구성할 수 있으며, 그 비율은 각 Drum 직경의 크기를 변경함으로써 이루어진다. Master boom tube와 Slave boom tube는 아래쪽을 향하고 있으므로 하중에 의한 무게의 평형을 유지하기 위하여 기존의 방법은 납으로 된 Counterweight를 사용하였으나 본 개발품은 판형 Coil spring과 Spiral drum을 이용하여 Counterbalance를 유지함으로써 무게를 경량화하여 관성을 최소화하였다.

또한 Master arm의 Boom tube를 고정한 상태에서 Motor 구동으로 Slave arm의 Boom tube를 상.하로 움직이게 함으로서 작업성을 향상시켰다.

3.5. X-Y motion 및 Balance weight

X motion은 Master arm과 Slave arm이 수직인 상태에서 수동으로 Slave arm 회전시 오른쪽 방향과 왼쪽 방향으로 각각 45°의 각도로 회전할 수 있으며, Master arm이 수직인 상태에서 Motor와 Pinion bevel gear를 이용하여 Slave arm 회전시 오른쪽 방향과 왼쪽 방향으로 각각 25°의 각도로 회전할 수 있고 그 회전속도는 3.5°/sec 이하로 가변 할 수 있다. Y motion은 Master arm과 Slave arm이 수직인 상태에서 수동으로 Slave arm 회전시 앞쪽 방향으로 30°와 뒤쪽 방향으로 25°의 각도로 회전할 수 있으며, Master arm이 수직인 상태에서 Motor와 Bevel gear 등을 이용하여 Slave arm 회전시 앞쪽 방향으로 90°와 뒤쪽 방향으로 25°의 각도로 회전할 수 있고 그 회전속도는 3.5°/sec 이하로 가변 할 수 있다. 그리고 원격조종기를 Wall tube에 삽입하거나 인출할 때는 Thru tube와 Slave arm이 수평으로 일직선이 이루어져야 하므로 Y motion은 수동 및 Motor로 Slave arm 회전시 앞쪽 방향으로 90°의 각도로 회전할 수 있도록 하였다.

그리고 X motion motor, Y motion motor 및 Z motion motor의 구동을 위한 Switch 및 Select switch는 Master arm 손잡이 부분에 위치한다.

3.6. Locking system

Locking 장치는 X motion locking 장치, Y motion locking 장치 그리고 Elevation & Twist motion, Azimuth motion, Z motion을 동시에 Locking하는 장치로 구성된다. X motion과 Y motion의 Locking은 Flexible cable을 이용한 레버기구에 의하여 작동되며, Elevation & Twist motion, Azimuth motion, Z motion은 나사 레버기구에 의하여 작동되는 장치로서 Master arm 하단부에서 작동시킬 수 있으며 임의의 위치에서 작동이 가능하다.

3.7. Seal tube

Seal tube는 핫셀 Wall tube 속에 삽입되는 부분으로서 Seal tube 속에는 핫셀 벽 두께 및 재료에 상응하는 Pb 블록 또는 PE 블록을 방사선 차폐체로 사용하며, 특히 핫셀 내부와 외부 사이를 완전한 Sealing이 이루어지는 구조로서 각 운동을 전달하기 위한 6개의 스테인리스 축과 Slave arm을 탈부착하기 위한 1개의 스테인리스 축이 사용되며 각각의 축에는 4개씩의 오일셀을 적용하고 그 외의 개소에는 O-ring을 사용하여 Sealing하였으며 각각의 축 양쪽에는 각 운동을 전달하기 위한 클러치 기구가 부착된다.

Seal tube 양쪽에는 Master arm transfer와 Slave arm transfer가 탈부착 될 수 있는 구조로 구성되어 있다.

3.8. Master arm transfer

Master arm transfer는 6개의 동력전달 축 및 드럼과 1개의 Slave arm 탈부착용 축 등으로 구성되어 Master arm의 작동으로 인한 Wire의 직선운동을 회전운동으로 바꾸어주는 역할을 수행하여 Seal tube에 회전운동을 전달하는 역할을 한다.

또한 Master arm의 각종 Wire에 대한 Tension을 조절할 수 있는 구조로 설계되었으며, X motion motor 및 Y motion motor가 이곳에 부착되어진다.

3.9. Slave arm transfer

Slave arm transfer는 6개의 동력전달 축으로 구성되어 Seal tube로부터 전달받은 회전운동을 Wire의 직선운동 바꾸어주는 역할을 수행하여 Slave arm의 운동을 가능케 하는 역할을 하며, Slave arm의 각종 Wire에 대한 Tension을 조절할 수 있는 구조로 설계되었다.

3.10. Boot 및 Boot holder

알파-감마형 Boot는 핫셀 내부에 위치한 Slave 부분을 핫셀 내부의 방사성 물질과 격리시키는 완전한 밀폐구조로서 Slave boom tube의 상하 행정의 변화로 인하여 Boot 내부의 체적의 변화가 발생하므로 내방사선 방독필터를 부착하여 체적의 변화를 수용하고 Slave 부분이 방사성 물질로 오염되는 것을 방지하기 위한 커버이다.

Boot는 항상 고 방사선에 노출되어 쉽게 취화될 수 있으므로 특수 성분을 첨가한 투명 비닐로 제작하였으며, Boot 교체시 오염을 방지하기 위하여 손상된 Boot가 Boot holder에서 분리되는 동시에 새로운 Boot가 장착되도록 하는 구조를 갖는 Boot holder와 Tool을 개발하였다. 또한 원격조종기 Slave 부분의 Wrist joint는 Boot의 내부와 원격 체결할 수 있고 Tong은 Boot 외부와 원격 체결할 수 있는 구조로 되어 있으며 이를 가능케 하는 Tool을 개발하였다.

알파-감마 핫셀에서는 방사성 물질의 산화를 방지하기 위하여 핫셀 내부를 불활성 가스로 충전되어 있으므로 작업 도중 Slave arm 및 Master arm에서 고장이 발생하였을 경우 핫셀 내의 불활성 가스 분위기를 파괴시키지 않고 Slave arm 및 Master arm을 교체하여야 함으로 Boot를 사용하지 않는다.

4. 원격조종기의 성능시험 결과 및 토의

본사에서 개발한 알파-감마형 원격조종기에 대하여 본사의 자체 Test 결과 초기 설계조건을 만족하는 성능을 보였으며, 외국산 원격조종기와 비교할 때 성능 면에서 거의 동등하거나 일부 기능은 더 우수한 것으로 나타났다. 앞으로 부품 제작공정의 단순화 및 기능 향상 그리고 실제 사용자가 요구하는 사항들을 면밀히 검토하고 수용하여 보다 성능이 우수한 원격조종기를 생산할 계획으로 있다.

5. 결 론

국내 최초로 알파-감마형 원격조종기의 개발에 성공하였다. 개발된 원격조종기는 본사의 자체 Test 결과 초기 설계조건을 모두 만족하였다. 앞으로 부품의 단순화, 부품 제작공정의 단순화, 각종 기능의 향상 그리고 실제 사용자가 요구하는 사항들을 면밀히 검토하고 수용하여 보다 성능이 우수한 원격조종기를 생산할 계획으로 있다. 이미 베타-감마형 원격조종기를 개발하여 국내에 납품한 바 있고, 금번에 알파-감마형 원격조종기 개발에 성공함으로써 모든 핫셀에 사용할 수 있는 원격조종기 개발을 완료하였으며, 국내의 모든 종류의 원격조종기의 유지보수에 신속한 대응을 할 수 있게 되었다. 또한 특수용으로 사용되는 다양한 형태의 원격조종기를 추가로 개발할 수 있는 능력과 기술을 보유하게 되었으며, 그 동안 수입에만 의존한 원격조종기를 국내산으로 대체함으로써 상당한 외화 절감효과를 얻을 수 있게 되었을 뿐만 아니라 수출도 기대할 수 있게 되었다.



그림 1. 개발된 알파-감마형 원격조종기의 모습