

# 극저온 환경에서의 제대혈 보관을 위한 로봇 매니플레이터 설계

## Robot Manipulator Design for Storing Cord Blood in Cryogenic Environments

\*이승희<sup>1</sup>, 박영이<sup>2</sup>, 정도영<sup>2</sup>, #이민철<sup>3</sup>

\*S. H. Lee(youneye@pusan.ac.kr)<sup>1</sup>, Y. Y. Park(onlyyou222@pusan.ac.kr)<sup>2</sup>, D. Y. Jeong(james.jeong0921@gmail.com)<sup>2</sup>,  
#M. C. Lee(mclee@pusan.ac.kr)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 기계기술연구원, <sup>2</sup>부산대학교 메카트로닉스협동과정, <sup>3</sup>부산대학교 기계공학부

Key words : Robot manipulator, Motion control, Cord blood, Cryogenic

### 1. 서론

국내의 많은 연구진들이 제대혈에서 추출된 성체줄기세포 및 배아줄기세포의 신체 이식 등 인간의 생명연장을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다 [1]. 하지만 연구의 가장 기초가 되는 극저온 냉동 보관 장치의 경우 100% 수입에 의존하고 있고 이 또한 자동형 저장용기와 수동형 저장용기의 가격 차이에 의해 수동형 저장용기의 경우, 수작업에 의한 외부노출로 인하여 세포의 생존율이 낮은 극저온 기체질소 보관용기에 보관하고 있는 실정이다. 특히 용기 내의 온도를 일정하게 유지하기 위해서는 필요한 제대혈만을 입출하는 로봇 시스템이 필수적이며 이는 냉동 보관된 세포의 생존율과 직결된다. 따라서 전자동제어시스템의 극저온 액체질소 보관용기 로봇 암의 기구적인 설계에 대한 연구를 통하여 이를 토대로 설계된 로봇 매니플레이터의 주요 기술인 암의 설계를 제안하고 시뮬레이션에 의해 검증하고자 한다.

### 2. 제대혈 용기

국내 현장에서 사용되고 있는 제대혈 저장용기는 (주) 두진에서 공급하고 있는 수동형 저장용기와 벤치마크 제품인 바이오아카이브사의 자동형 저장용기가 운용되고 있는 실정이나, 현장에서는 바이오아카이브사의 제품 운용 시에 시스템 오류로 인한 A/S 요인이 많이 발생하여 자동형 저장용기보다 수동형 저장용기를 더 선호한다고 한다. 그러나, 이는 사용자의 편의성 문제이므로 서두에서 언급한 제대혈의 보존율로 본다면 안정적인 시스템의 자동형 저장용기 개발이 시급함을 알 수 있다 [2]. 수동형 저장용기의 경우 업체의 협조를 받아 실제 운용 상태와 내부를 파악할 수 있었으나, 자동형 저장용기의 경우 운용중인 업체의 협조를 구하기가 어려워 제작사의 운용 매뉴얼과 인터넷에서 찾은 동영상 자료로써만 운용 방법과 내부 동작 상태를 파악하였다.

그림 1은 바이오아카이브사의 자동저장용기의 용기 내부 구조이다 [3]. 바이오아카이브 자동저장용기는 서모제너시스사에서 상용저장용기를 사용하여 상부에 로봇 암을 장착한 형태이다. 따라서 내부는 그림 1과 같이 기존 용기의 활용으로 인해 7개의 보관 링 구조로 되어 있다. 제일 위가 7번이고 아래가 1번이다. 실온상태의 제대혈을 극저온상태의 액체질소에 보관하기 위해 CRF(Controlled Rate Freezer)의 예냉 완료에 걸리는 시간은 25분여 정도이다. 바이오아카이브 자동저장용기에 저장되는 모든 캐니스터들은 액체질소 속에 항상 잠겨있다. CRF는 fan 속도제어를 이용한다. 바이오아카이브 자동저장용기의 설치 권장 환경은 섭씨 20도, 습도 60%이다. 캐니스터 안에 들어가는 보존액의 형상은 최적의 냉동화(균일하게 냉동시키기 위해서 전용백을 사용)를 위해 설계된 것이므로 변경이 어렵다. 제대혈 예냉 곡선은 보관되는 물질의 종류에 따라 각각 다르게 적용된다.

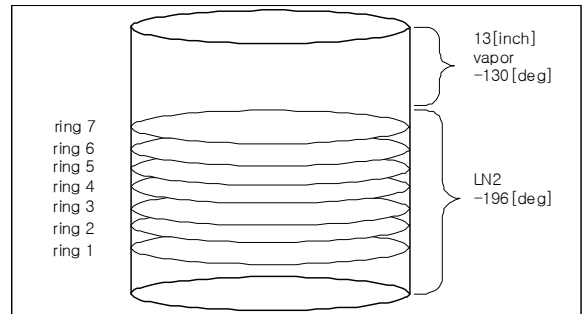


Fig. 1 Block diagram of storing vessel

### 3. 설계 및 시뮬레이션

자동저장용기는 수동저장용기의 이중단열용기의 상부에 로봇 암을 장착하는 형태로 설계되어야 한다. 하부 용기의 상부 덮개의 단열 구조를 유지하기 위해서는 SCARA 로봇의 형태를 변형한 원형 덮개 형태의 링크를 가지는 로봇 암의 구조가 필요하다. 따라서 Major Lid와 Minor Lid를 이용한 로봇 암의 구조를 설계하였다. 그림 2는 설계된 로봇 암의 구조도이다. 이를 바탕으로 로봇 암의 순기구학과 역기구학의 해를 계산하기 위해서 Matlab 시뮬레이션 툴을 이용하여 로봇 암의 경로 계획을 설정하였다. 로봇 암 구조는 그림 2와 같이 상부의 Major Lid와 Minor Lid가 회전운동을 하면서 직선운동을 만들어 내는 방식을 취하고 있다. 이는 로봇 매니플레이터의 구조 해석으로 볼 때에 SCARA 로봇과 유사한 동작 특성을 가짐을 알 수 있다. SCARA 로봇의 경우 관절, 링크의 크기에 따라서 작업 공간의 제약이 따르지만 자동저장용기의 로봇 암의 경우 작업 공간의 제약이 없는 것이 특징이다. 따라서 SCARA 로봇의 매니플레이터의 동특성을 규명하고 표 1과 같이 D-H 매개변수표를 이용함으로써 바이오아카이브의 로봇 암 운동 반경을 식 (1)과 같이 계산하였다

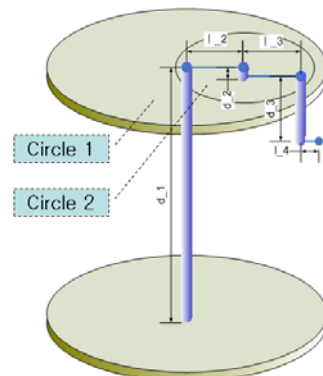


Fig. 2 Block diagram of workspace for SCARA

Table 1 D-H parameter of robot manipulator

$\theta$	$d$	$\alpha$	$a$
$\theta_1$	$d_1$	0	0
$\theta_2$	0	0	$l_2$
$\theta_3$	$-d_3$	0	$l_3$
0	0	0	$l_4$

$$A_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad A_2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & l_2 \cdot \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & l_2 \cdot \sin \theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & l_3 \cdot \cos \theta_3 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & l_3 \cdot \sin \theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & -d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$${}^0A_4 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) & -\sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) & 0 & (l_3 + l_4) \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + l_2 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) & \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) & 0 & (l_3 + l_4) \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + l_2 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & d_1 - d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

시뮬레이션으로 기존 제품인 바이오아카이브 사 자동 저장용기의 캐니스터 저장과 회수에 대한 공정을 분석하여, 향후 제작될 자동 저장용기 로봇 암의 구조에 적합한 빠른 동작을 위한 로봇 암 궤적경로를 설정하여 제대혈 보관용기의 저장과 회수를 빠르게 할 수 있도록 제어 속도를 개선하고자 하였다. 그리고 로봇 암 구동시 반복정밀도를 높일 수 있도록 로봇 암 초기 원점 세팅 기능을 구현하였다.

그림 3 과 그림 4 와 같이 Visual C++와 OpenGL 및 Matlab 프로그램을 사용하여 설계 완료된 자동 저장용기의 외형 도면의 치수를 대입하여 3 차원적인 로봇 암의 말단 장치 움직임과 각각의 좌표값을 기구학적으로 계산하는 시뮬레이션 검증 작업을 가졌다. 이를 활용하여 각 축의 모터 회전과 최소의 움직임을 가지고 최적의 캐니스터 저장 경로를 생성하는 알고리즘을 개발하였다.

제대혈 관리 메인 프로그램은 로봇 암 제어 서브프로그램과 메시지 큐 방식으로 서로 필요한 정보를 주고받으며, 자동 저장용기에 캐니스터의 저장과 회수 작업을 가능하게 한다.

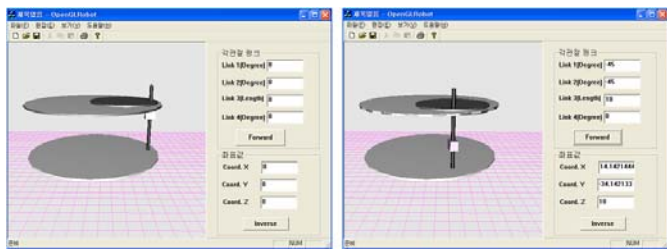


Fig. 3 Visual C++ program of OpenGL simulation

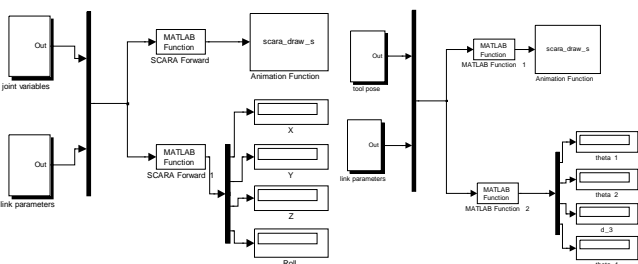


Fig. 4 Block diagram of Matlab simulation program

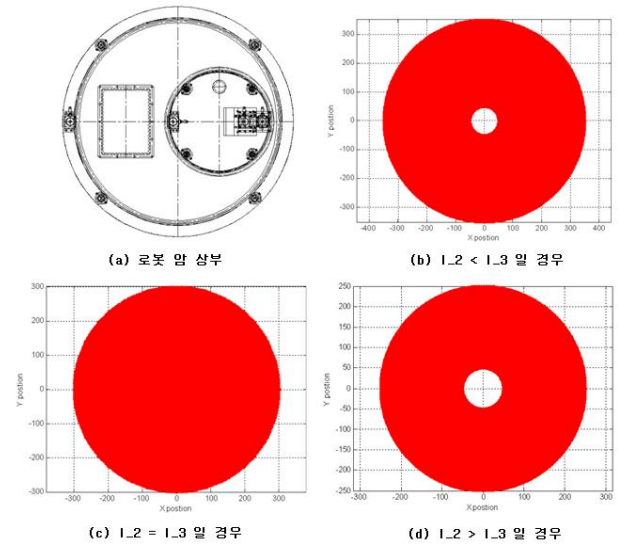


Fig. 5 Workspace of simulation

그림 5 의 (a)는 로봇 암 상부의 평면 설계도이며 (b), (c), (d)는 Major Lid 와 Minor Lid 의 링크인  $l_2$  와  $l_3$  길이 변화에 따른 workspace 를 시뮬레이션 한 결과이다.

자동저장용기 내부 저장 Rack 을 작업 제한 요소로 가정하여 Ring 사이를 원형 궤적을 유지하며 이동할 경우와 각 Slot 에서 캐니스터를 직선 궤적을 유지하여 이동하는 경우를 나누어서 로봇 암의 동작 궤적을 생성하였다. 저장이나 회수 위치를 결정하는 데 가장 큰 영향을 주는 것은 Major Lid 의 회전 방향이다. 이때 Periscope 는 각 Ring 의 중심원 상에 위치하고 있어야 Major Lid 의 회전시에 저장용기의 핀과 간섭을 발생하지 않는다.

4. 결론

기존 제품인 바이오아카이브 사 자동 저장용기의 캐니스터 저장과 회수에 대한 공정을 분석한 후 바이오아카이브 사 자동 저장용기의 특허를 회피하여 설계될 자동 저장용기에 최적으로 캐니스터를 저장하고 회수할 수 있는 로봇 암 동작 궤적 알고리즘을 분석하기 위해 자동 저장용기 제작 전에 시뮬레이션 프로그램을 활용하여 로봇 암 제어를 시뮬레이션 하였다. 향후 이를 바탕으로 설계 후 조립된 자동 저장용기에 MMC Board 를 사용하여 로봇 암의 각 축에 장착되어 있는 AC 서보 모터를 제어함으로써 캐니스터의 저장과 회수에 대한 반복 실험을 수행할 것이다.

후기

본 연구는 산업자원부 지역산업중점기술개발사업(7000658)에 의해 지원되었으며, 이에 관련된 여러분께 깊은 감사드립니다.

참고문헌

1. 김현욱, “제대혈유래 조혈줄기세포를 이용한 세포치료기술 개발,” 과학기술부, 2005.
2. 황유성, “제대혈 이식관리의 현황과 법적 문제,” 대한의료법학회, Vol. 4 No. 2, pp. 183-198, 2003.
3. BioArchive System, “Automated Liquid Nitrogen Storage System Service and Maintenance Manual,” ThermoGenesis Corp.