

## Development of A Bridge Transported Servo Manipulator for The Maintenance of The Hot Cell Equipment - A Prototype Design

150

(hot cell) (master-slave manipulator, MSM)

, MSM

(Bridge Transported Servo Manipulator, BTSM)

BTSM (slave manipulator), (master manipulator) . BTSM

, 3 CAD (Computer-Aided Design) Solid Edge

BTSM

### Abstract

Mechanical master-slave manipulators (MSMs) which are mounted on the hot cell wall cannot access all the areas for the equipment maintenance due to their reach limitation. A Bridge Transported Servo Manipulator (BTSM) has been designed to overcome the limitation of access that is a drawback of the MSMs for the equipment maintenance. The BTSM system consists of four components: a transporter with a telescoping tubeset, a slave manipulator, a master manipulator, and a remote control system. The BTSM system has been designed by Solid Edge which is a 3D CAD, except for the remote control system. In this paper, it is addressed the design and analysis of the mechanical parts, except for the design of the remote control system.

1.

ACP (Advanced spent fuel Conditioning Process)  
(Bridge Transported Servo Manipulator, BTSM)  
ACP  
ACP (hot cell)  
(Mechanical Master-Slave Manipulator, MSM)  
MSM  
가  
가  
1:1  
가 ( 10 kg ).  
MSM , ACP BTSM  
MSM  
BTSM  
ACP , ACP ( , , ),  
ACP  
(transporter), (slave manipulator),  
(master manipulator)  
BTSM 3 CAD (Computer-Aided Design) Solid  
Edge (handle) (gripper) 6  
DOF (Degree of Freedom) 가 .  
(force reflection) , 7  
(replica)  
가 가 , 가  
(bridge), (trolley) (telescoping  
tubeset)  
BTSM

2. (Design requirements)

ACP 11m (L) x 2m (W) x 4.3m (H) .  
 (X, Y, Z) 가 .  
 가  
 가 , 10 m/min  
 . (bridge rail) (working table) (2.47 m),  
 ACP (1.2 m)  
 , 가 가  
 . 100 kg .  
 , MSM .  
 6 가 .  
 1 m ,  
 (end-effector) 1 m/sec .  
 가  
 40 kg ,  
 10 kg , 10 kg . ACP  
 , BTSM .  
 BTSM 10<sup>8</sup> rad .  
 BTSM

3.

가 , , , , .  
 가 SCALE .  
 SCALE ACP  
 , 가 가  
 1 363 rad/h x 104 h = 3.63 x 10<sup>6</sup> rad  
 , 190 cm, 200 cm  
 6.69 x 10<sup>4</sup> rad .

## 4. BTSM

### 4.1 BTSM

1 가 BTSM

. BTSM 3 CAD Solid Edge . BTSM

. Digital Mockup cell 가 , 가

3.4 m, 2 m, 3.37 m . Mockup cell 가 , ACP

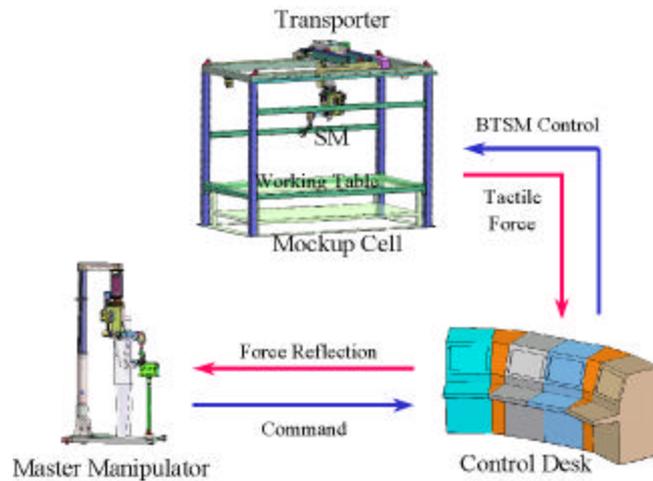
. Mockup cell 가 ,

. BTSM (bilateral-positioning control) ,

가

4

. BTSM 가



1.

### 4.2

2 X, Y, Z

(saddle) , 가 . 4 2

1.8 m , 0.78 m 가 (30 cm ) ,

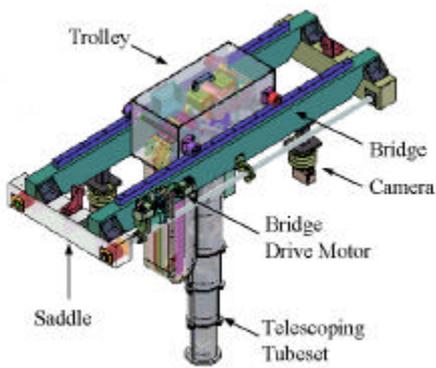
3 4 . 4 2 , 가 , 가 320 mm, 670 mm, 310 mm . 1 3 .

(sprocket) / 3 , 1,100 mm 가 600 mm , 1,700 mm . 200 kg 가 6 가 , . 4

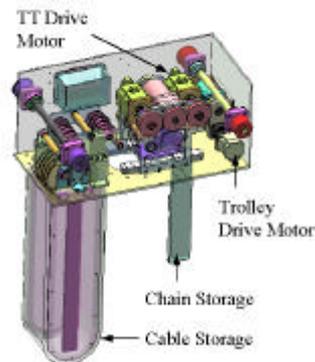
가 , 가 4 , 가 가 4 가 5 -

가 , 가 (support pin) (guide pin) MSM

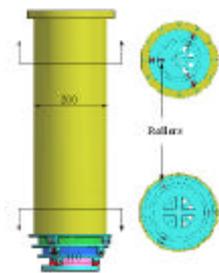
(non-latching type) 4 가 (plug) 4 가 (socket)

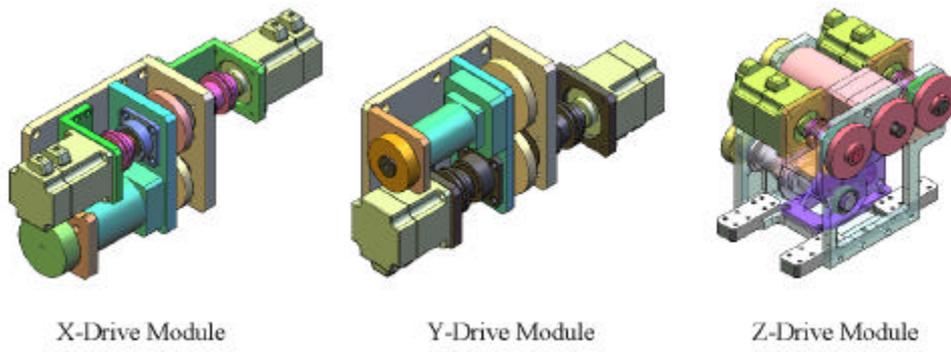


2. X-Y-Z

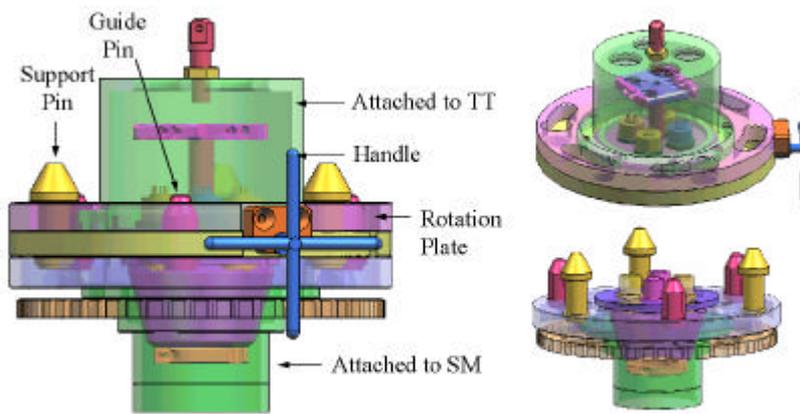


3. Y-Z





4.



5.

4.3

1% (sensitivity)

6 가

가 , 가 가

가 , 가 가 가 가

elbow - up

2-4)

가

6 6

30 kg

(hook)

7

MSM

가  
가

8

5-6)

3 AC

가

가

가

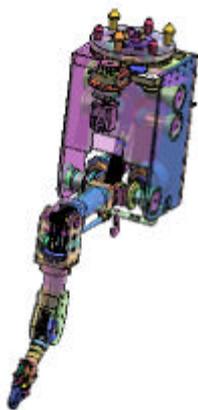
330 mm

250 mm

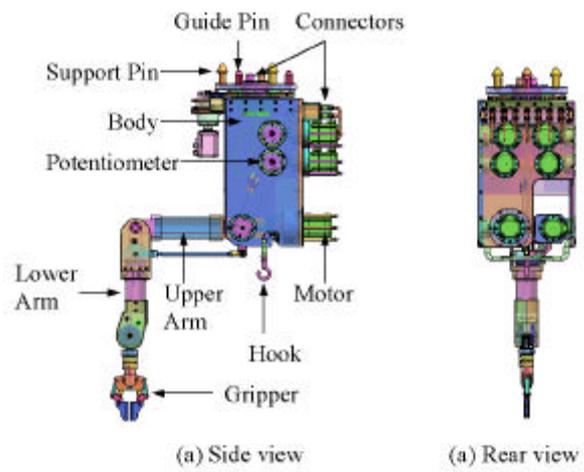
285 mm x 230 mm x 445 mm

40 kg

1



6.



7.



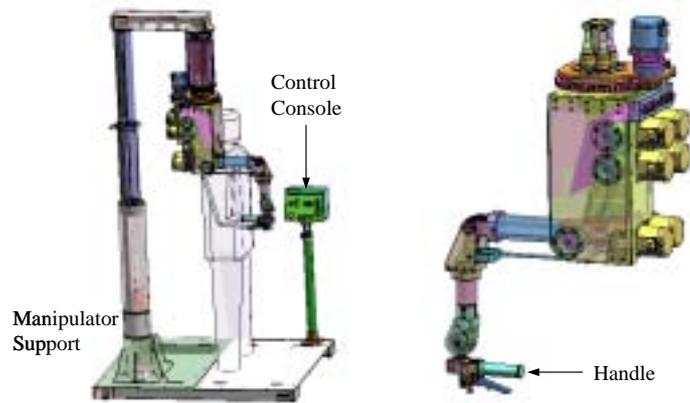
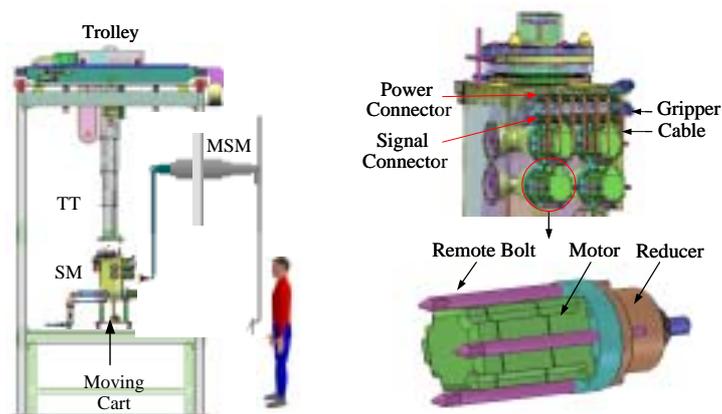


그림 9. 추가적인 제어 콘솔을 갖는 마스터 매니플레이터.

#### 4.5 슬레이브 매니플레이터 유지보수 개념

슬레이브 매니플레이터는 튜브로부터 원격으로 탈부착 할 수 있도록 설계하였다. 그림 10은 슬레이브 매니플레이터를 유지보수 하기 위한 개념을 보여준다. 탈착 방법은 다음과 같다. 이송장치를 운전하여 슬레이브 매니플레이터를 핫셀 차폐창 가까이로 이동시키고, 튜브를 거의 최대로 하강시킨다. MSM을 이용하여 탈부착대(moving cart)를 매니플레이터 하부로 이동시킨 후 탈부착대 상부면이 매니플레이터 몸체에 닿도록 탈부착대의 핸들을 돌려 탈부착대의 높이를 증가시킨다. 탈착장치의 상부 회전관을 돌려 매니플레이터가 튜브로부터 분리될 수 있도록 한 후 탈부착대의 키를 낮추어 완전히 분리되도록 한다. 이때 탈착장치 내부의 커넥터 플러그와 소켓도 동시에 분리된다. 매니플레이터의 부착은 이의 역순으로 한다. 매니플레이터 몸체에 부착된 구동 모듈도 MSM을 이용하여 분해하고 조립한다.



(a) 매니플레이터 탈착 (b) 구동 모듈 탈착  
그림 10. 매니플레이터와 구동 모듈의 원격 탈착.

4.6

가 ,

/ . , , / 가 ,

/ . 4, 5, 6 7

가 가 가

(Pulley) 가 가 가

(4 ), / (5/6 ) (7 )

2 (45°) ,

45° (

)가 가 가

3 (+50° 135°)

+50° - 135° 5.8 mm 7 mm , 가

가 가 가 ,

(15 kgf) ( mm) 3

표 2. 매니플레이터 팔의 자세에 따른 와이어 길이 변화량

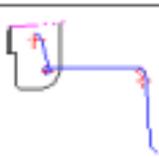
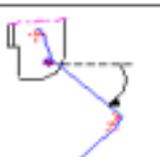
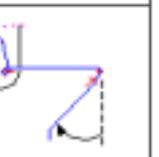
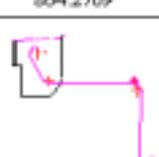
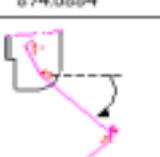
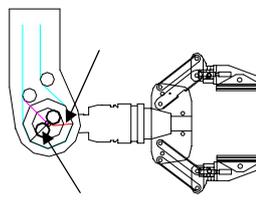
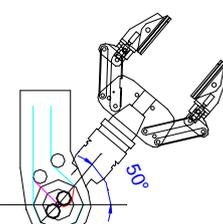
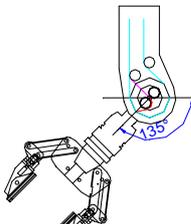
조작기		기본 자세	상부 팔틸트 (45°)	하부 팔틸트 (45°)
	손목구동 상부 와이어			
	길이 (mm)	864.2709	874.0884	874.0884
	손목구동 하부 와이어			
	길이 (mm)	1002.4745	992.6570	992.6570
손목구동 와이어 길이 (mm)		1866.7454	1866.7854	1866.7854
와이어 길이 변화 (mm)		0	0	0

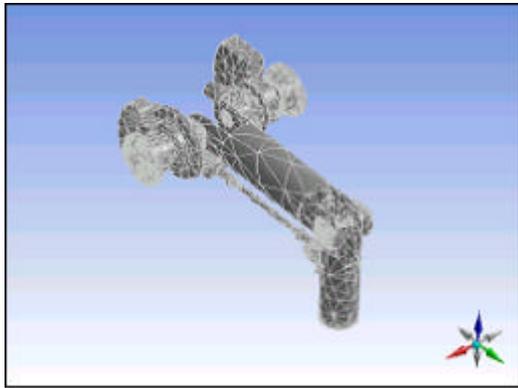
표 3. 매니플레이터 그리고퍼의 자세에 따른 와이어 길이 변화량

		Up (50°)	Down (-135°)
	 가		
(mm)	27.355	33.220	34.448
(mm)	0	5.865	7.093

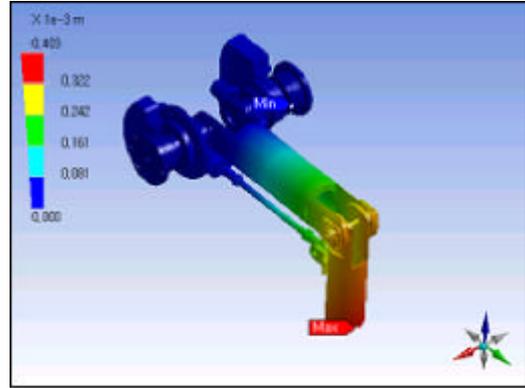
매니플레이터 프레임, 부품 및 연결부의 구조적 강성은 구조해석 Tool인 Design Space 를 활용하여 분석하였다. 매니플레이터는 고강성의 구조를 갖도록 응력 안전계수를 8 이상, 최대 변형량을 1 mm 이하로 설정하였다. 이와 같은 조건을 만족시키면서 취급하중/자세중량비가 최대가 되도록 재질, 두께 등을 고려하여 최적 설계를 하였다. 설계한 매니플레이터의 자체중량은 약 40 kgf 이며, 최대 취급하중은 15 kgf 이다. 그림 11은 구조해석을 위한 메쉬(node:192,509 개)를 보여주며, 그림 12는 최대 취급하중을 부가한 경우 매니플레이터 팔의 각 부분에 대한 변형량을 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 하부 팔에

1 mm

0.4 mm

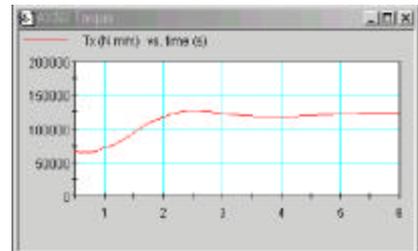
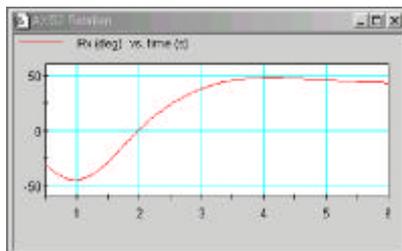
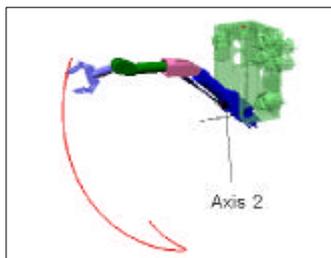


11. Mesh Geometry.



12.

, 3 Tool Visual Nastran 가  
 (15 kgf) 가  
 13 가 2 ( )  
 , 16 kgf ( 15 kgf, 1kgf) 가  
 -45° 45° 가 120 Nm .  
 4  
 , 10  
 가 , / 가 가  
 ( Tamagawa )  
 ( Rockwell )  
 . 4  
 , 40 kgf .  
 ( 40 kgf, 15 kgf) /  
 가 EMSM2C ( 35 kgf,  
 10 kgf) 30 % .



13. 2

4.

		Axis 1		Axis 2		Axis 3		Axis 4		Axis 5		Axis 6		Axis 7	
		*M	*S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S
(Nm)		20	20	17	124	12	63	2.5	20	2.5	30	2.5	30	0.6	6
		20	50	20	200	15	200	2	100	2	100	2	100	1	50
	(Nm)	1.27	0.64	1.27	0.64	1.27	0.32	1.27	0.32	1.27	0.32	1.27	0.32	1.27	0.32
	(W)	400	200	400	200	400	100	400	100	400	100	400	100	400	100

\* M: Master, S: Slave

5.

ACP (Advanced spent fuel Conditioning Process)

(Bridge Transported Servo

Manipulator)

3

3

(handle)

(girpper)

( )

7

가

가 가

가

가

MSM

가

4, 5, 6,

7

[1] B. S. Park, S. H. Ahn, T. G. Song, J. S. Yoon, and E. S. Kang, "Remote Operations Using Gantry Manipulator in Remote-Handled Facility," Proceedings of

the ICASE2000, Daejeon-Chungcheong, pp.67-70, 12, 2000.

- [2] D. P. Kuban and H. L. Martin, "An Advanced Remotely Maintainable Force-Reflecting Servomanipulator Concept," Proc. of the 1984 National Topical Meeting on Robotics and Remote Handling in Hostile Environments, pp. 407-415, 1984.
- [3] J. N. Herndon, H. L. Martin, and P. E. Satterlee, Jr., "The State-Of-The-Art Model M-2 Maintenance System," Proc. of the 1984 National Topical Meeting on Robotics and Remote Handling in Hostile Environments, pp. 147- 154, 1984.
- [4] T. W. Burgess, "The Remote Operation and Maintenance Demonstration Facility at the Oak Ridge National Laboratory," Proc. of Spectrum '86 Int'l Topical Meeting on Waste Management and Decontamination and Decommissioning, pp. 2089-2100, 1986.
- [5] H. L. Martin and D. P. Kuban, "Traction Drive Seven Degrees-Of-Freedom Telerobot Arm : A Concept for Manipulation in Space," Proceedings of the Remote Systems and Robotics in Hostile Environments, pp. 135- 142, 1987.
- [6] Eugene I. Rivine, Mechanical Design of Robots, McGraw-Hill Book Company, 1988.