

## 프로펠러 턴오버 장치 개발

신상룡<sup>†</sup>·이윤식<sup>\*</sup>·이지형<sup>\*</sup>·노태양<sup>\*</sup>·염두식<sup>\*\*</sup>·전병진<sup>\*\*\*</sup>

### Development of a propeller turn-over system

Sang-ryong Shin, Yun-sik Lee, Ji-hyung Lee, Tae-yang Noh,  
Doo-sik Yeom and Byung-Jin Jeun

**Key Words:** hydraulic clamping, propeller, turn-over, turning roller, Friction Driving

#### Abstract

During the manufacturing process of a propeller for a large scale commercial ships, several times of turn-over process should be required. Propeller turn-over is a indispensable process but not easy because of its heavy weight and complicate shape. Recently, we developed a new type of turn-over system for a large scale propeller. The system consists of turning roller devices, sliding transfer system, clamping devices and so on. In this paper, we described the design process which includes mechanical structure design, dynamic analysis and assembly with a laser tracker.

#### 1. 서 론

조선 산업의 성장으로 선박 건조시 필수 부품인 대형 프로펠러에 대한 급격한 수요 증가에 따라 공급업체의 생산능력 확대를 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 프로펠러 제작시 수행되는 다양한 가공공정에서 개별 장치의 성능 및 가공 공법에 대한 연구 분야는 지속적인 개선을 가져왔으나 프로펠러 제작 공정에서 필수적으로 요구되는 프로펠러 턴오버 작업은 제작 공장의 생산 공정 물류 및 생산 효율성에 중대한 역할을 담당하고 있음에도 불구하고 작업물의 다양성과 대수량물 핸들링의 난이성으로 인하여 작업 방법 개선과 장치 개발에 대한 연구가 미진하였다.

종래의 프로펠러 턴오버 작업은 모래 피트를 형성하고 천정 크레인을 이용, 수동 작업으로 수행하였는데 이러한 작업방법은 프로펠러 날개의 손상, 로프 손상에 의한 안전사고 발생 가능성이 높아 천정 크레인을 이용한 수작업 방식은 세심한 주의와 과도한 시간이 요구되었다. 이를 개선하기 위하여 본 연구에서는 공장내 점유 면적을 최소화하고 장치 운용 효율성 및 내구성을 확보한 마찰 구동 방식의 턴오버 메카니즘을 연구 적용한 프로펠러 턴오버 장치를 개발하였다.

#### 2. 프로펠러 턴오버 장치 개요

##### 2.1 프로펠러 주요 사양

본 연구에서 개발된 턴오버 장치에 적용되는 프로펠러 사양은 다음과 같다.

- 프로펠러 중량 : Max. 100ton
- 프로펠러 직경 : Max. 9.5m
- 프로펠러 날개수 : 4 ~ 7날

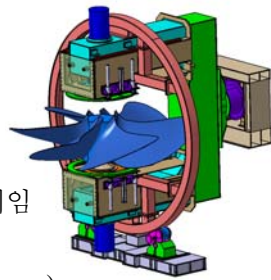
---

† 현대중공업 자동화연구실  
E-mail : ssryong@hhi.co.kr  
TEL : (052)202-3205 FAX : (052)250-9587  
\* 현대중공업 자동화연구실  
\*\* 현대중공업 엔진생산기술부  
\*\*\* 현대중공업 보전2부

## 2.2 프로펠러 턴오버 장치 개요

본 연구에서 개발한 프로펠러 턴오버 장치는 구조물 전체와 그 하부에 설치된 터닝롤러간의 마찰을 턴오버를 위한 회전 기구로 구성한 것이 특징이며, 그 주요 구성은 프로펠러를 탑재하여 하중을 지지하는 'ㄷ'형태의 메인 프레임, 이에 연결된 회전 샤프트 및 회전 샤프트 고정 구조물, 'ㄷ'형태의 메인 프레임을 둘러싼 원형 프레임, 원형 프레임의 하부에 설치되어 턴오버 작업을 수행하는 400ton급 힌지형 터닝롤러, 턴오버 장치내 프로펠러의 로딩 (loading)과 언로딩(unloading)을 담당하는 슬라이딩 대차, 턴오버시 프로펠러 고정을 담당하는 유압 클램핑 장치 및 이를 전체적으로 운용하는 제어 시스템으로 이루어진다.

- ① 메인 프레임
- ② 원형 프레임
- ③ 터닝 롤러 장치
- ④ 회전 샤프트
- ⑤ 회전 샤프트 고정 프레임
- ⑥ 슬라이딩 대차
- ⑦ 프로펠러 클램핑 콘(Cone)



개발된 프로펠러 턴오버 장치는 프로펠러의 탑재 준비부터 언로딩(Unloading) 작업까지 8단계의 세부 순서로 동작을 수행하여 턴오버 작업을 완료한다. 작업 순서는 Fig. 1과 같다.

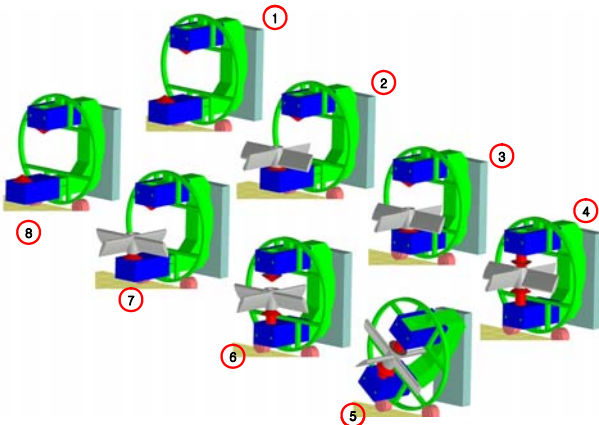


Fig. 1 Working Procedure of Turn-over System

## 3. 프로펠러 턴오버 장치 설계

### 3.1 구조 설계

본 연구에서는 상세 설계에 앞서 전체 기계 시스템에 대한 기본 구조 설계를 하였다. 기본 설계는 메인 프레임과 원형 프레임, 터닝롤러의 반력 등에 대해서 진행하였으며, 이를 바탕으로 각 부분에서 필요한 치수를 결정하고 각 부분별 상세 해석을 통하여 구조 강도와 치짐을 검증하였다.

- 메인 구조물 설계기준

부하 하중 : 200ton 기준(유압 가압력 포함)

강재 기준 허용응력 : 21kg/mm<sup>2</sup>,

안전률 : KS 산업기계설계 충격조건 적용

메인 구조물을 구성하는 단면 폭과 높이의 적절한 비율을 산정하기 위해 판재의 두께를 20mm, 단면의 폭과 높이를 각각 1000~2000mm 범위에서 설정하였고, 선정된 단면의 치수 비율을 바탕으로 판재 두께를 20~40mm 사이에서 변화시켜 단면의 치수를 1000~2000mm 사이에서 허용응력을 만족시키는 조건을 도출하였다.

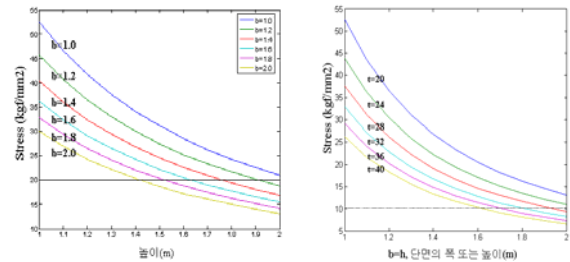


Fig. 2 Stress of the Structure Section

선정된 단면 치수로는 폭과 높이가 1700mm 이상, 판재 두께는 최소 35t 이상이 요구되었으며, 이를 상세 해석한 결과 최대응력은 약 11kg/mm<sup>2</sup>로 나타났다.

이러한 결과에 준하여 최종 설계된 프로펠러 턴오버 장치의 전체 중량은 기초 자재 및 보조 작업대를 포함하여 약 270ton, 메인 프레임과 원형 프레임 그리고 터닝 롤러가 결합된 구조물에서 전체적인 응력은 15kg/mm<sup>2</sup> 이내 이다. 이때 메인 프레임의

처짐은 최소화하여 프로펠러 턴오버 장치의 구조적인 편심회전을 유발하지 않는 것으로 나타났다.

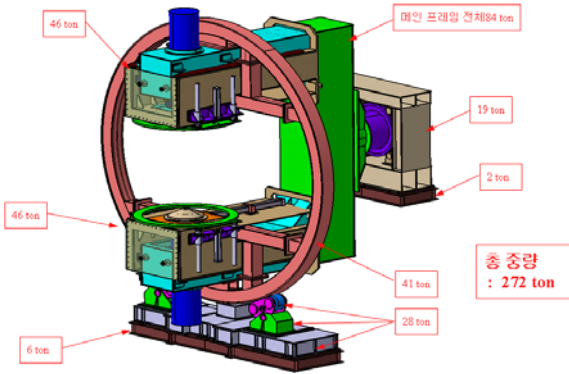


Fig. 3 Weight Condition of Turn-over System

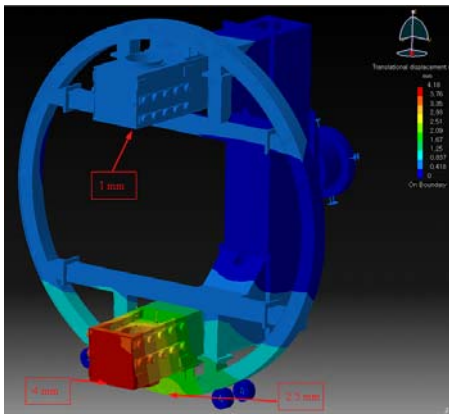


Fig. 4 Structural Deflection of Turn-over System

3.2 기구 동특성 해석

본 연구에서 개발된 프로펠러 턴오버 장치는 터닝 롤러와 원형 프레임간의 마찰에 의해 구동되는 특성과 턴오버 되어지는 대형 프로펠러가 갖고 있는 편하중 조건에서의 회전 특성을 갖고 있는데, 이러한 마찰구동에서 발생하는 상대적인 기구간의 미끄러짐과 편하중 조건에서 발생하는 회전부하의 불균형 등에 대한 설계기준 정립과 기구 안정성에 대한 검증이 필요하다. 이를 수행하기 위하여 본 연구에서는 정역학적인 반력과 하중에 근거한 하중분석뿐만 아니라 턴오버 과정 동안 발생하는 동적인 특성들을 해석하여 개발 장치의 기계적인 한계를 결정하고 장치의 안정성을 평가하였다. 본 과제에서는 기구동역학 해석 툴인 리커다인(Recurdyn)을 이용하여 본 장비의 동적 특성들을 해석하였으며, 구동 조건에 대한

해석 결과는 다음의 경우로 정리하였다.

- 무게중심에 대한 불평형 조건이 없는 경우
- z방향의 무게중심 불평형 조건의 경우
- x방향의 무게중심 불평형 조건의 경우
- y방향의 무게중심 불평형 조건의 경우

1) 불평형 조건이 없는 경우의 터닝 롤러 반력

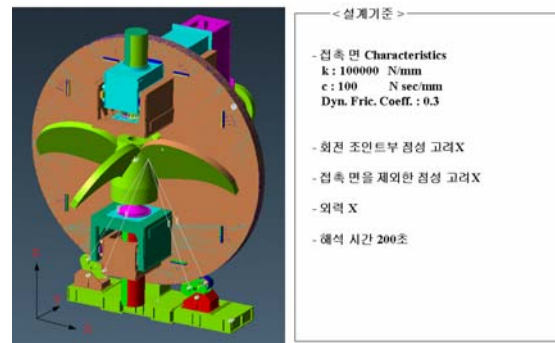


Fig. 5 Boundary Condition of Simulation

프로펠러를 탑재하지 않은 상태에서의 기본적인 반력의 크기는 정역학적 반력 계산식에 의한 결과와 유사하며, 프로펠러를 탑재한 경우, 터닝 롤러 구동시 롤러를 지지하는 샤프트 조인트의 반력 및 터닝 롤러와의 반력은 Fig. 6과 같고, 터닝롤러의 구동속도와 마찰에 의해 회전되는 원형프레임의 속도를 비교한 결과 상대적인 미끄럼은 미소하였다.

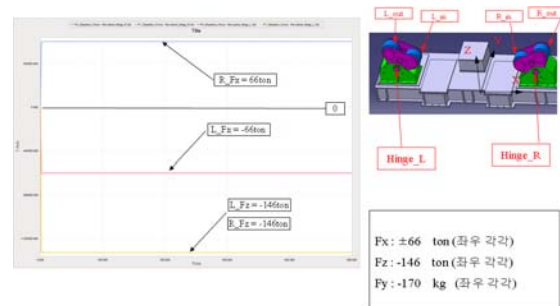


Fig. 6 Reaction Force of the Turning Roller

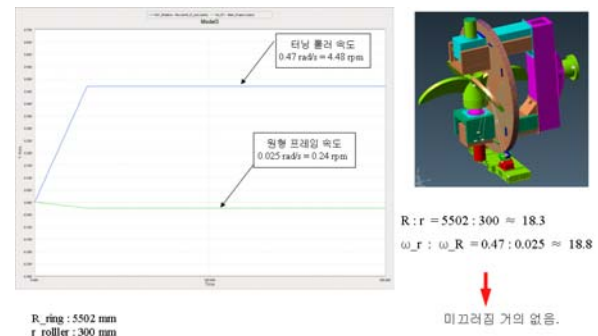


Fig. 7 Velocity Profile of the Turning Roller

2) z 방향의 무게 중심 불평형 구동 특성

프로펠러 무게 중심이 장치 센터에서 z방향으로 500, 1000, 1500mm 불평형 상태일 때의 원형 프레임의 각속도 프로파일을 시뮬레이션하여 보면 무게 중심이 옮겨지는 거리가 증대됨에 따라서 원형 프레임과 터닝 롤러 사이의 미끄러짐이 커지며 또한 턴오버시 불평형 상태가 중력 방향에 대해 가중 되는 방향에서 미끄러짐이 크고 각속도가 느려지는 것을 확인 할 수 있다. 불평형 조건에 따라 각속도 프로파일이 나타내는 변동 폭은 불평형 조건이 없을 때에 비해 약 20% 정도 변동을 보인다. 이러한 불평형에 대한 속도의 변동은 Fig. 9에 보인바와 같이 구동 조인트에서의 반력에 대한 변동을 수반한다. 좌우 터닝 롤러의 힌지 조인트에서의 좌우 방향(x방향)에 대한 반력의 변동은 최대 3%, 상하 방향(z방향)으로의 반력에 대한 변동은 15% 까지 나타났으며 장비의 전후 방향(y방향)으로의 추력은 최대 900kgf 이내로 작용하는 것으로 나타났다.

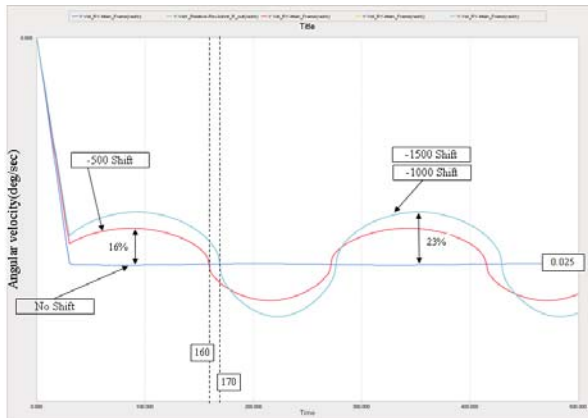


Fig. 8 Angular Velocity of the Turning Frame

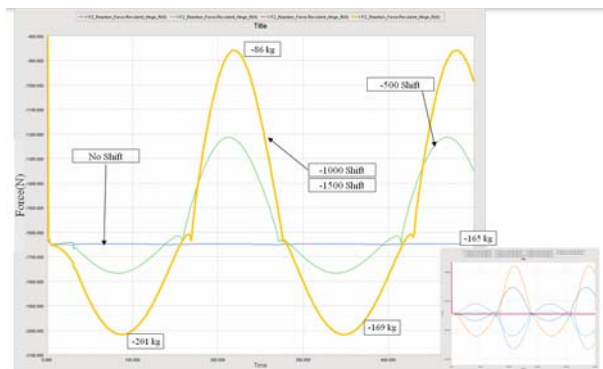


Fig. 9 Reaction Force(Fy) of the Turning Roller

3) x 방향의 무게 중심 불평형 구동 특성

프로펠러 무게 중심이 장치 센터에서 x방향으로 500, 1000, 1500, 3000mm 불평형 상태일 때의 원형 프레임의 각속도 프로파일을 시뮬레이션한 결과는 z방향의 불평형때와 마찬가지로 턴오버시 불평형 상태가 중력 방향에 대해서 가중 되는 방향에서 미끄러짐이 크고 속도가 느려지는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 불평형에 대한 좌우 터닝 롤러의 힌지 조인트에서의 좌우 방향(x방향)에 대한 반력의 변동은 최대 3%, 상하 방향(z방향)으로의 반력에 대한 변동은 16% 까지 나타났다. 불평형의 거리를 3000mm로 확장하였을 때의 변동폭은 40%이상이었다. 장비의 전후 방향(y방향)으로의 추력은 최대 300kgf 이내로 작용하는 것으로 나타났다.

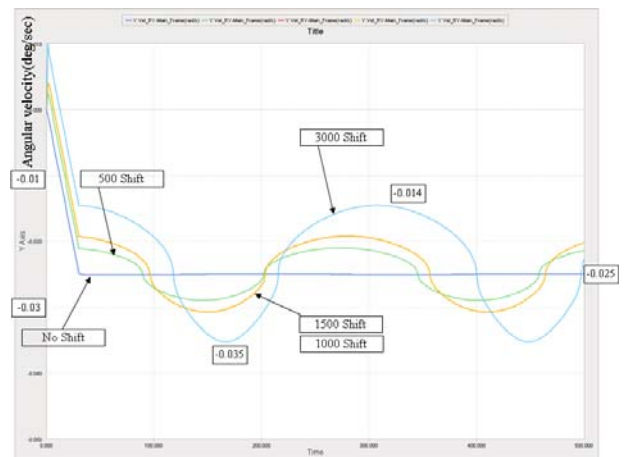


Fig. 10 Angular Velocity of the Turning Frame

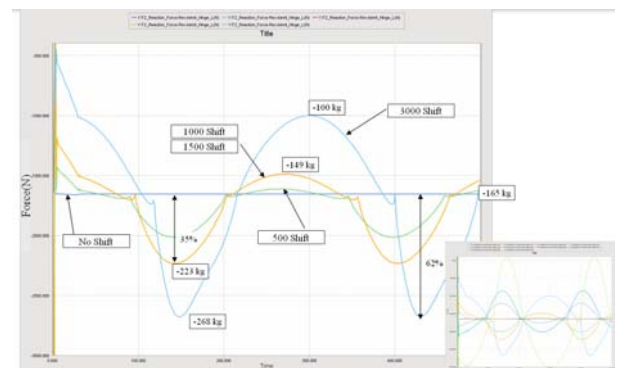


Fig. 11 Reaction Force(Fy) of the Turning Roller

4) y 방향의 무게 중심 불평형 구동 특성

프로펠러 무게 중심이 장치 센터에서 y방향으로 500, 1000, 1500, 3000mm 불평형 상태일 때의 원



형 프레임의 각속도 프로파일을 시뮬레이션한 결과는 무게중심에 대한 불평형이 커져도 미끄러짐과 각도 프로파일에 대한 변화가 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다. 이는 전후 방향(y 방향)으로의 불평형 상태 조건의 경우 무게 중심의 위치가 회전 중심에 유지되기 때문이다.

y방향의 불평형에 대한 각각의 조인트에서의 반력을 살펴보면 좌우 터닝 롤러의 힌지 조인트에서의 전후 방향(y방향)에 대한 반력의 변동은 거의 없으며, 다만 지지 반력의 크기가 크게 나타나는 경향을 보인다. 이것은 무게 중심이 전방으로 옮겨짐에 따라서 회전 샤프트로부터의 거리가 길어져 모멘트가 커지기 때문에 이를 지지하는 터닝 롤러에서의 지지 반력이 상대적으로 증가하는 것을 의미한다.



Fig. 12 Angular Velocity of the Turning Frame

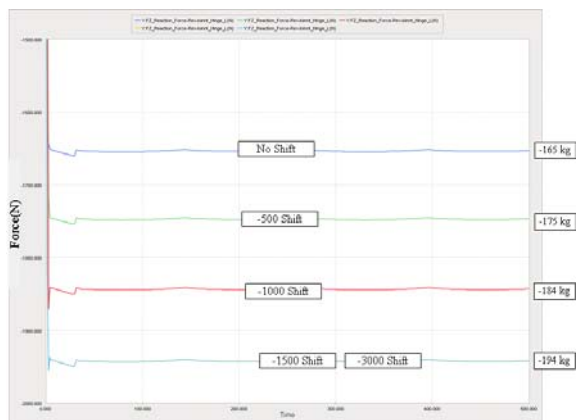


Fig. 13 Reaction Force(Fy) of the Turning Roller

이러한 결과에서 프로펠러의 하중을 최대 120ton으로 가정할 때, 무게 중심의 불평형이 약

1500mm 발생하는 경우 각 조인트에 발생하는 하중의 변화량은 약 25% 정도로서 설계 하중의 안전률을 고려할 때, 추력 발생에 있어서 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었으며, 평균적인 프로펠러의 하중을 감안할 때, 설계된 시스템은 안정성을 확보한다.

#### 4. 프로펠러 턴오버 장치 설치/시운전

##### 4.1 설치

본 연구에서 개발된 프로펠러 턴오버 장치는 장치의 구동특성상 턴오버 작업시 발생하는 전·후진 방향의 추력을 최소화하기 위하여 회전 중심에 대한 정도 관리가 대단히 중요하며 이를 달성하기 위하여 정확한 기계설치는 필수적이다. 본 턴오버 장치는 아래에서 위로 적층하는 방식으로 구조물의 조립이 실시되었으며, 이 과정에서 조립 공차는 회전중심을 기준으로 공차내에서 조립되도록 하였다.



Fig. 14 Assembly of Turn-over System

##### 4.2 측정 및 시운전

본 연구에서는 3차원 정밀 측정기를 활용, 설치 상태를 실시간 계측, 수정하며 조립을 수행하였다. 조립 과정에서 사용한 측정기는 FARO 社의 레이저 트랙커 이고, 측정 정밀도는 35m 반경에서 약 0.25mm 이내이다. 조립시의 측정위치는 Fig. 14와 같이 장치의 전면부와 측면부이고 측정된 좌표를 동일 좌표계 내에서 확인하여 입체적인 설치 상태를 확인하고 조립 완료 하였다.

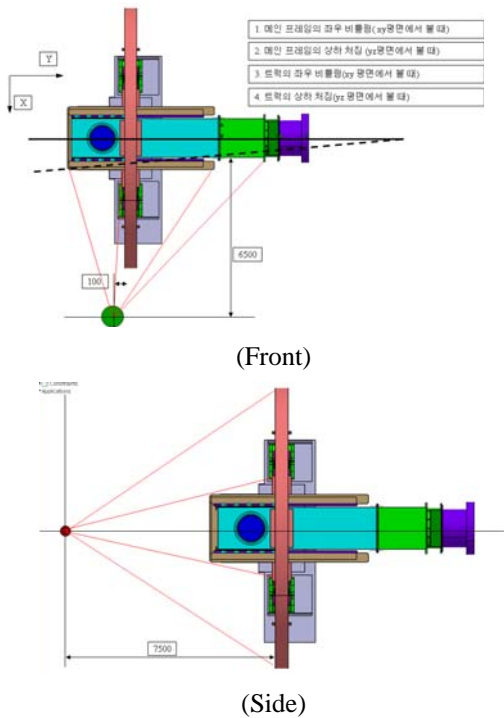


Fig. 14 Measuring Position

Table 1은 설치시 측정된 좌표값의 일부를 나타낸 것이다.

Table 1 Measured Position Data

R2	3780.5216	-4958.6917	1146.5725
Group - 080627_AM::B_Truck			
Point Name	X	Y	Z
L	1570.8831	-4133.3247	1544.5543
L2	1370.3438	-2361.2263	1547.0634
R	3670.9731	-4126.7528	1545.5704
R2	3872.6364	-2365.3501	1546.9683
Group - 080627_AM::Ring			
Point Name	X	Y	Z
L_B	-1247.4656	158.8169	1731.0254
L_U1	-1251.2894	153.722	9539.608
R_B	6504.0408	156.2729	1729.2755
R_B1	6503.7295	156.2988	1728.9397
R_U1	6500.8051	156.9738	9538.9006
Group - 080627_AM::U_Truck			
Point Name	X	Y	Z
L2	1376.2044	-2325.3965	9717.6683
R2	3878.5108	-2323.1033	9714.9602
R3	3878.497	-2339.3536	9714.9093
Group - 080627_AM::U_Ram			
Point Name	X	Y	Z
1	2624.3584	-1545.9304	11268.2062
3	2624.4508	-1546.37	11564.361

측정된 값을 분석한 결과, 원형 프레임의 중심 좌표는 설계 도면을 기준으로 공차 범위내이며, 클램핑 실린더인 장치인 Ram은 상·하간에 허용편차 내에 설치됨을 확인하였다.

## 5. 결론

본 연구에서는 선박용 대형 프로펠러 턴오버 장치를 고안하고, 이에 대한 기본 설계 및 제작 사양을 정립하였으며, 구조해석을 통한 상세설계, 동특성해석을 통한 안정성 검증, 제작, 시운전을 완료하여 생산효율화를 달성하였다.

본 연구에서의 주요 연구 결과는 다음과 같다.

1. 신형 프로펠러 턴오버 장치 기구 설계
  - Friction Driving 방식을 적용한 턴오버 메커니즘 개발
  - 구조해석을 통한 주 구조물의 설계 기준 정립
  - 롤러 구동 동특성 해석을 통한 안정성 검증
2. 100톤급 프로펠러 턴오버 장치 개발
  - 1회 턴오버 작업시간 : 0.5hr(준비시간 포함)
  - 실 턴오버 시간 : 최대4분/회
  - 대형 구조물 정밀 측정 및 설치 기술 검증
3. 프로펠러 턴오버 장치 관련 기술 선점
  - 국내/해외 특허 출원 : 총 10건

## 참고문헌

- (1) Gere, 2001, "Mechanics of Materials, 5th", Brooks/Cole, pp.708~711.
- (2) Parviz E. Nikraves, 1988, "Computer-Aided Analysis of Mechanical Systems", Prentice Hall, pp.347~352.
- (3) FunctionBay, 2006, "Recurdyn Basic Tutorials - Pinball ", pp.19~21.
- (4) R. C. Hibbler, 1995, "Engineering mechanics, Dynamics", Prentice Hall, pp.387