

# 유압식 추락 방지장치에 관한 연구

## A Study on the Hydraulic Fall Prevention Device

최정훈<sup>1</sup>, 구재민<sup>2</sup>, 석창성<sup>2,✉</sup>, 허용<sup>3</sup>, 장성용<sup>4</sup>

Jung-Hun Choi<sup>1</sup>, Jae-Mean Koo<sup>2</sup>, Chang-Sung Seok<sup>2,✉</sup>, Yong Huh<sup>3</sup> and Sung-Yong Chang<sup>4</sup>

1 성균관대학교 기계공학부 일반대학원 (Department of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan Univ.)

2 성균관대학교 기계공학부 (Department of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan Univ.)

3 삼성전자 디지털미디어총괄 생활가전 사업부 (R&D Planning Group Digital Appliance Division, SEC)

4 한국 전력공사 전력연구원 수화력 발전연구소 (Power Generation Laboratory, KEPCO Research Institute)

✉ Corresponding author: seok@skku.edu, Tel: 031-290-7446

Manuscript received: 2009.12.16 / Accepted: 2010.8.30

*Since a tower crane is too high for a worker to ascend and by the wind in the high altitude, the possibility of a safety accident is very high, a lift assist is used. In this study, the hydraulic fall prevention device using the pressure generation device by Seok, et al.<sup>6</sup> was developed. For this, the effects on the fall prevention performances of factors such as gear clearance, oil viscosity, rotative velocity and so on were evaluated by the analysis of fluid flow using FEM and the prototype was produced and a function test was performed.*

Key Words: Trochoid Gear (트로코이드 기어), Pressure Generator (압력발생 장치), Hydraulic Fall Prevention Device (유압식 낙하방지 장치)

### 기호설명

RPM = Revolution per minute

cSt = Centistoke

### 1. 서론

타워크레인을 이용한 작업 시 작업자가 운전실 에 오르기 위해서는 구비된 수직사다리를 통해 운 전실로 이동하게 되는데, 작업자가 수작업으로 오 르기에는 높이가 너무 높을 뿐 아니라, 높은 고도 에서 부는 바람 등으로 인해 오르내리는 과정에서 추락할 수 있는 등의 안전사고의 위험성이 크다. 이에 따라 일반적으로 도르래와 무게추를 이용한 승강 보조 장치가 사용되고 있지만 많은 위험을 내포하고 있으며 전자장비의 경우 고비용으로 인 해 활용도가 저조한 상태이다.<sup>1,3</sup> 또한 최근 캠 방

식을 응용한 안전승강 보조 장치와 브레이크 패드 와 기어를 사용해 추락 시 제동과 함께 충격을 최 소화 시켜주는 Safety Block 등<sup>4</sup>이 개발되었으나 설 치가 불편하며, 지속에도 제동력이 발생되어 승·하 강이 어려운 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 석창성 등<sup>5,6</sup>이 제안한 압력발생장치에 사용되는 트로코이드 기어펌프의 원리를 기반으로 유압식 추락방지장치를 제안하였 다. 유압식 추락방지 장치는 작업자가 승강 시 적 용할 수 있는 Pulley 에 기어 펌프의 원리를 적용 한 것으로서, 저속으로 승·하강 시에는 압력이 발 생되지 않아 평소와 같이 활동 할 수 있으나, 추 락 시에는 Pulley 의 급격한 회전으로 인해 내부의 압력발생장치에 압력이 발생하고 발생된 압력으로 인해 마찰판의 마찰력으로 추락을 멈추게 할 수 있는 장치이다.

본 논문에서는 유압식 추락방지장치에 유한요

소해석 기법을 적용하여 유동해석을 수행하고 오일 점도, 회전 속도 등 추락방지 성능에 미치는 영향을 평가하였다. 또한 시제품을 제작하고 성능 시험을 통하여 추락방지 기능을 평가하였다.

**2. 유한요소해석을 이용한 설계인자 평가**

**2.1 유압식 추락방지 메커니즘**

본 연구의 유압식 추락방지 장치는 Fig. 1 과 같이 Body pulley(C)의 내측에 압력발생부(B)가 있으며, 압력발생부와 함께 연동되는 shaft(D)와 마찰부재(E)가 우측에 위치한다. Body pulley의 양측 외면에는 제 1 커버(A) 및 제 2 커버(F)가 회전축의 역할을 하도록 구성되어 있다. 따라서 Body pulley가 과속으로 회전하게 되면 상기 압력발생부가 작동하게 되고 이에 연동하여 마찰부재에 의한 제동력이 발생됨으로써 풀리의 회전을 정지시키게 된다.

Body pulley의 외측 내면에는 압력발생부의 기어회전자를 편심으로 삽입하였으며, 기어회전자와 대응하여 Body pulley의 후면에 shaft를 결합하였다. 또한, Body pulley의 내면에 유입홀과 회수홀이 관통되도록 하였으며, 유입홀 및 회수홀 내에는 체크밸브를 설치하였다. 체크밸브는 강구(ball)와 이를 탄성적으로 지지하는 스프링으로 구성된 것으로, 유체의 가압에 의해 강구가 일방향으로 밀려남으로써 유로가 개방되어 유체가 흐를 수 있도록 하였다. Fig. 2는 유압식 추락방지장치의 단면도

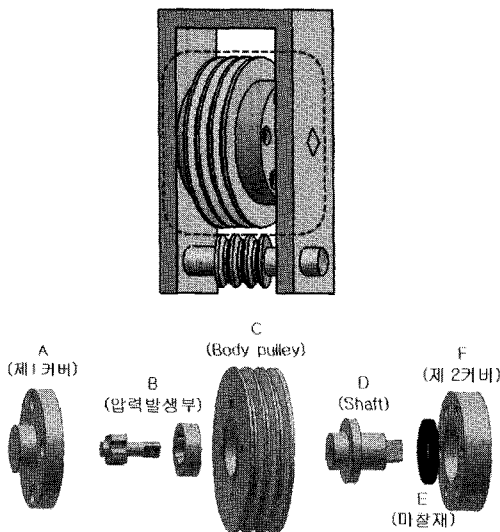
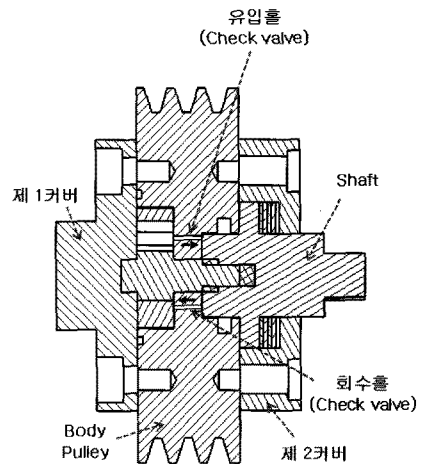


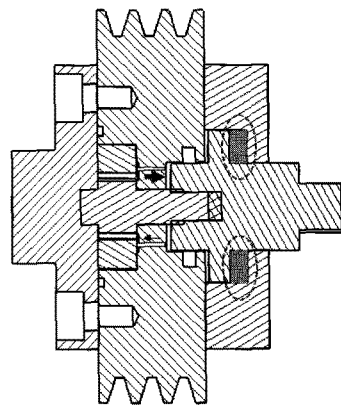
Fig. 1 Schematic diagram of hydraulic anti-drop device

로서 트로코이드 기어펌프의 원리를 적용 및 변경하여 압력발생을 유도하였다.

작동원리는 Pulley가 천천히 돌아가는 경우(Fig. 2(a)) 즉, 서서히 하강하는 동안에는 트로코이드 기어치 사이의 체적변화로 인해 발생된 작은 양의 압력은 Pulley 내부의 유입홀의 체크밸브를 통해 실린더로 이동되며 이동된 압력은 트로코이드 기어와 연결된 Shaft를 밀어 내기 전에 회수홀의 체크밸브를 통해 복귀하므로 Pulley의 회전으로 인해 압력이 발생하여도 압력이 일정 방향으로 계속 순환하므로 안정적인 속도로 회전할 수 있다. 그러나 급격한 회전 시(Fig. 2(b)), 압력이 발생되면 발생된 압력은 유입홀을 통해 shaft측으로 이동하게 되는데 이때는 이동된 압력이 회수홀로 복귀하



(a) Low velocity



(b) High velocity

Fig. 2 Schematic diagram of hydraulic anti-drop device

는 압력보다 유입홀로 유입되는 압력이 더 크기 때문에 복귀하지 못한 잔여의 압력이 Shaft 를 밀어내게 되지만, Shaft 는 고정되어 있기 때문에 상대적인 운동효과로 인해 Pulley 가 밀려나게 된다. 이때 밀려나는 Pulley 는 Shaft 의 마찰부재와 Pulley 에 체결된 제 2 커버와 접촉하여 제동효과가 발생되어 고속 회전을 하지 못하게 된다.

**2.2 유동해석**

유압식 추락방지장치는 Pulley 가 회전할 때, 내부의 트로코이드 기어부에서 압력이 발생되며, 그 압력으로 인해 Pulley 가 뒤로 밀려 마찰력으로 추락을 멈추게 하므로 Pulley 내부에서 발생하는 압력을 예측하기 위해 사용유체의 점도변화, return hole(outlet)의 직경변화, 트로코이드 기어의 토출량을 유한요소해석을 이용해 평가하였다.

**2.2.1 유동해석 모델 및 방법**

본 연구의 유압식 추락방지장치는 트로코이드 기어부에서 발생하는 압력에 따라 마찰력에 의한 제동력이 결정되므로, 트로코이드 부에 흐르는 유체의 형상에 대한 모델을 구성하였다. 트로코이드 기어가 회전함에 따라 유체는 유로를 따라 Pulley 형 축을 밀어내고 return hole 을 통해 트로코이드 부로 복귀한다. 이에 Fig. 3 과 같이 유동해석 모델을 구성하였다.<sup>5,7</sup> 상용전처리 프로그램인 GAMBIT ver. 3.3.1 을 사용하여 요소망 모델을 구성하였으며, FULENT ver. 6.1.22 를 사용하여 유한요소해석을 수행하였다. 해석에 사용된 요소는 3 차원 비정렬 격자이며, 요소 수는 약 11,000 개, 절절의 개수는 약 15,000 개 이다.

트로코이드 부에서 압력이 발생되어 Pulley 형 축으로 흐르는 입구(Inlet)에 트로코이드 기어의 토출량에 상당하는 오일의 속도를 가하여 Pulley 형 축에 작용하는 압력을 유동해석을 통해 계산하였다. 해석에 사용된 유체의 기준 물성은 기어오일인 M 사의 DTE 25 의 물성으로서 비중 1.072, 점도 46 cSt 이다. Tables 1~3 은 해석조건을 나타낸 것이다.

**2.2.2 유동해석 결과**

유동해석 결과 Fig. 3 과 같이 cylinder 입구(inlet)부터 cylinder 내부까지 높은 압력이 발생하고 return hole(outlet) 부근에서 압력이 감소하는 경향이 나타났다. Fig. 4 는 트로코이드 기어 토출량 1.5 cc/rev, 회전수 100 RPM, return hole 크기 0.4 mm 일때,

Table 1 Conditions of flow analysis according to viscosity

Viscosity (cSt)	Return hole size (mm)	RPM	Amount of discharge (cc/rev)
46	0.4	100	1.5
100			
200			
300			
400			
500			

Table 2 Conditions of flow analysis according to outlet diameter

Viscosity (cSt)	Return hole size (mm)	RPM	Amount of discharge (cc/rev)
46	0.2	100	1.5
	0.3		
	0.4		
	0.5		
	0.8		
	1		

Table 3 Conditions of flow analysis according to RPM of trochoid gear

Viscosity (cSt)	Return hole size (mm)	RPM	Amount of discharge (cc/rev)
46	0.4	50	1.5
		100	
		150	
		200	

점도 변화에 따른 유동해석 결과를 나타낸 것으로서 점도가 46 에서 500 cSt 까지 변할 때 발생하는 압력은 1.89 에서 14.7 MPa 로 선형적으로 증가하였다. Fig. 5 는 트로코이드 기어 토출량 1.5 cc/rev, 회전수 100 RPM 일 때, 점도 46, 100 cSt 에서 return hole 크기 변화에 따른 유동해석 결과를 나타낸 것으로서, return hole 크기가 0.2 에서 1 mm 까지 변할 때, 점도 46 cSt 인 경우 29.5 에서 0.162 MPa 로 감소하는 경향이 나타났다. 점도 100 cSt 인 경우에는 53.4 에서 0.162 MPa 로 감소하는 경향이 나타났다. Fig. 6 은 트로코이드 기어 토출량 1.5 cc/rev, 오일의 점도 46 cSt, return hole 직경의 크기가 0.4 mm 일 때, 점도 46, 100 cSt 에서 트로코이드 기어의 회전수를 50 에서 200 RPM 으로 변화에 따

른 유동해석 결과를 나타낸 것으로서, 점도가 46 cSt 인 경우, 트로코이드 기어 회전수가 50 에서 200 RPM 으로 증가함에 따라 발생 압력은 0.82 에서 4.79 MPa 로 증가하였으며, 점도가 100 cSt 인 경우에는 1.48 에서 8.95 MPa 로 증가하였다. 유체의 점도, return hole 의 크기, 트로코이드 기어의 회전 수 변화에 따른 유한요소해석 결과, return hole 크기 변화 시에 가장 큰 압력이 발생하였다. 따라서 유압식 추락방지장치 설계 시 return hole 크기에 대한 고려가 매우 중요함을 확인하였다.

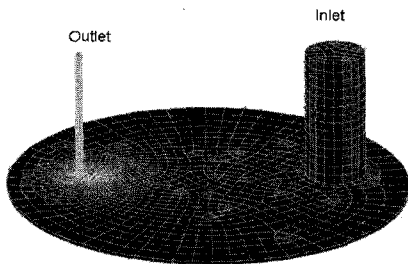


Fig. 3 3D model for fluid analysis<sup>5</sup>

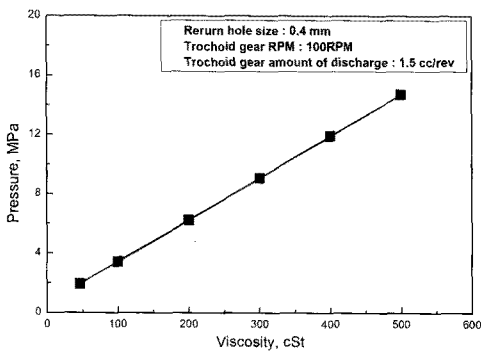


Fig. 4 Relationship between pressure and viscosity

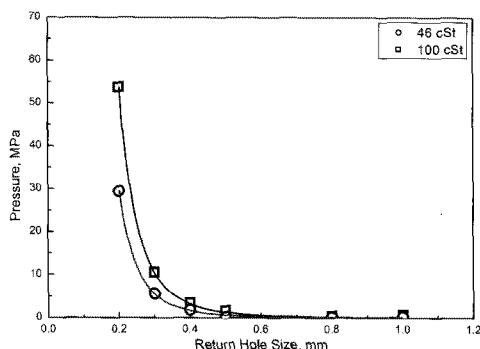


Fig. 5 Relationship between pressure and return hole size for 46 and 100 cSt

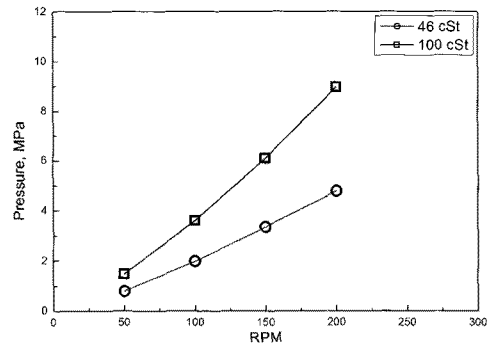


Fig. 6 Relationship between pressure and RPM of trochoid gear for 46 and 100 cSt

### 3. 압력발생 장치 성능 평가

#### 3.1 성능평가 장치

유압식 추락방지장치의 성능평가를 위해 설계 시 return hole 크기에 대한 고려가 중요함을 유동 해석을 통해 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 2 장의 유동해석을 바탕으로 return hole 의 가공성을 고려하여 return hole 의 직경을 0.4mm 로 정하였다. 한편 Pulley 내부에 삽입되는 압력발생장치의 성능을 평가하기 위하여 모터, Load cell, brake system 및 controller 로 이루어진 시험 장치를 제작하였다. Fig. 7 과 Fig. 8 에는 성능평가 시험장치 개략도와 제작된 성능평가 시험 장치의 모습을 나타내었다.

압력발생장치의 회전을 가능하게 하기 위해 구동모터와 압력발생장치를 연결하였다. brake pad 역할을 수행할 수 있도록 피스톤 기어를 넓게 제작하였고, brake 로 피스톤 기어에 제동을 걸어 트로코이드 기어가 회전을 하며 압력을 발생할 수 있도록 하였다. 피스톤 기어의 끝단에는 Load cell 을 장착하여 압력발생장치에서 발생하는 압력을 측정할 수 있도록 구성하였다. 커버 기어와 모터의 연결부 및 피스톤 기어와 load cell 의 연결부에 발생하는 마찰을 최소화하기 위하여 thrust bearing 을 설치하였다.

#### 3.2 성능평가 결과

압력발생장치의 성능평가를 위해 100 RPM 의 속도하에서 점도 44, 46 과 143 cSt 의 조건으로 성능시험을 수행하였다. Fig. 9 에 성능평가 시험 결과를 나타내었다. 점도가 44cSt 에서 143cSt 로 변환에 따라 압력이 1.73 MPa 에서 4.86 MPa 로 증가하

였다. 시험결과와 해석결과를 비교한 결과, 점도의 증가에 따라 압력이 선형적으로 증가하는 경향을 나타내었고, 두 결과 값이 유사한 경향을 나타내었다. 또한 점도 44cSt 에서 회전속도를 50~200 RPM 으로 변화시켜 보았다. Fig. 10 에 측정된 하중과 압력과의 관계를 나타내었다. 트로코이드 기어의 회전속도가 50 RPM 에서 200 RPM 으로 증가함에 따라 압력이 0.75 MPa 에서 4.49 MPa 로 증가하였다. 해석결과와 시험결과를 비교한 결과, RPM 의 증가에 따라 압력이 선형적으로 증가하였으며, 두 결과 값은 유사한 경향을 나타내었다.

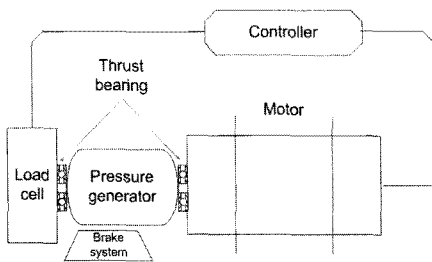


Fig. 7 Schematic diagram of the pressure generator test bed

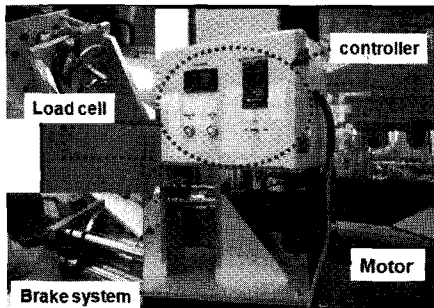


Fig. 8 The experimental setup for pressure

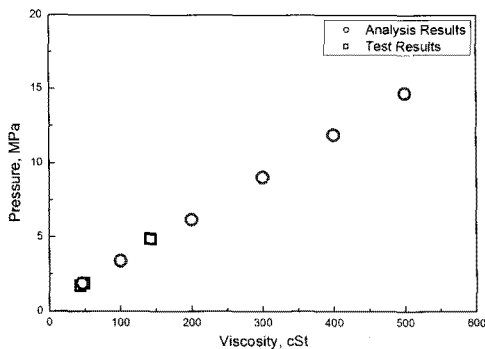


Fig. 9 The comparison between results of analysis and viscosity test

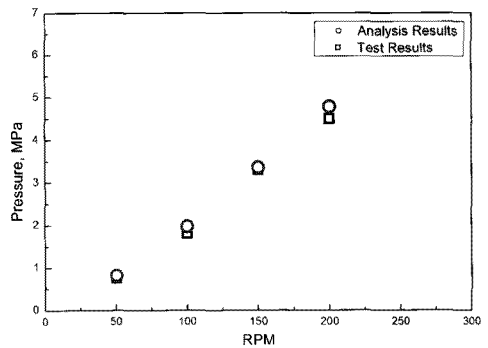


Fig. 10 The comparison between results of analysis and RPM test

#### 4. 압력발생장치를 이용한 유압피스톤식 Pulley 의 제작 및 성능평가

본 연구에서 설계된 추락방지 메카니즘을 포함하는 유압피스톤식 Pulley 의 성능시험을 위해 Fig. 11 과 같은 부품들을 Pulley case 에 장착(Fig. 12)하여 성능시험을 수행하였다. 와이어로프는 Pulley Case 하부 바닥에 뚫린 2 개의 입·출구 구멍을 통해 감겨 들어가도록 제작하였으며, 보조 Pulley 의 비틀어진 축이 원활한 회전을 하도록 Fig. 12 에 나타난 바와 같이 자동조심 베어링을 사용하여 축을

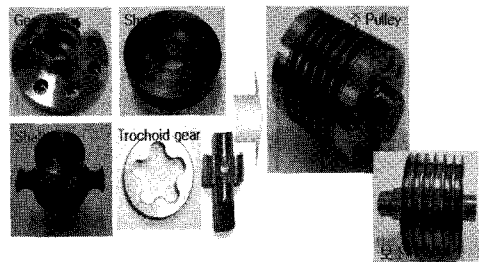


Fig.11 Component of manufactured Pulley

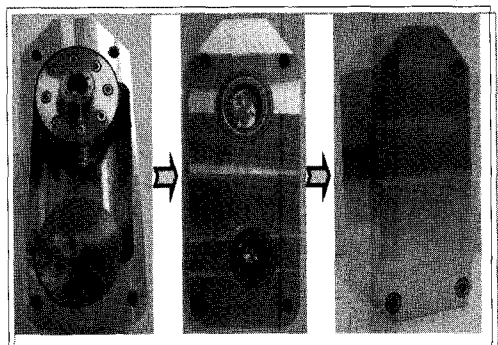


Fig. 12 Built-up type of Pulley case

잡아줌으로서 축의 비틀림에 대한 불안정한 회전을 제거하였다. 추락 상황을 묘사한 성능 시험을 수행하기 위해 작동 오일을 M 사의 DTE 25 로 사용하였다. 조립된 Pulley Case 를 10m 높이의 호이스트에 장착하기 위해 1-볼트를 Pulley Case 상부 중앙에 부착하여 공중에 매달았다. 추락 상황을 묘사하기 위해 일반인의 평균체중인 70kgf 과 과체중일 경우의 100kgf 의 무게추를 준비하고 일정 높이에서 무게추를 낙하시켰다. 유압피스톤식 Pulley 의 정방향 및 역방향 회전 시 압력발생 유무와 회전 속도에 따른 제동력의 발생 유무를 평가하였다. 일반인의 평균체중인 70kgf 의 추락시험 결과, 저속(3m/min) 낙하에서는 정방향, 역방향 모두 제동력 없이 원활히 회전하였다. 중속(5m/min)낙하에서는 제동력이 발생하지 않았으나 샤프트의 밀림과 복귀현상이 반복됨에 따라 다소 부드럽지 못했다. 반면 고속(10m/min)낙하의 경우, 낙하후 약 0.5m 자유낙하한 뒤 확실한 제동력이 발생되어 추락을 방지하였다. 과체중인 100kgf 의 추락시험에서는 저속과 중속에서 평균체중인 70kgf 의 추락시험과 동일한 제동효과를 발생시켰다. 다만 고속낙하에서는 낙하후 약 0.3m 자유낙하한 뒤 제동력이 발생되어 추락을 방지하는 것으로 나타났다. Table 4 에 시험결과를 정리하여 나타내었다.

Table 4 Test results of a hydraulic anti-drop device

Weight	Direction of rotation	10 m/min	5 m/min	3 m/min
70kgf	CW	Break Force	Slip & Break force	No Break force
	CCW			
100kgf	CW	Break Force	Break force	No Break force
	CCW			

5. 결론

본 연구에서는 추락방지 메카니즘을 이용한 유압피스톤식 Pulley 를 제안하였으며, 유동해석을 이용하여 기어 간극, 오일 점도, 회전 속도 등 추락방지 성능에 미치는 영향을 평가하였다. 또한 시제품을 제작하고 성능시험을 통하여 추락방지 기능을 평가하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 유동해석 결과 return hole 크기 변화 시에 가장 큰 압력이 발생하였다. 따라서 유압식 추락방지장치 설계 시 return hole 크기에 대한 고려가 매우 중요함을 알 수 있었다.

(2) 압력발생장치의 성능평가 결과 유한요소해석 결과와 유사한 압력이 발생되는 것을 확인하였으며, 이로서 본 장치의 적용 가능성을 확인하였다.

(3) 추락방지 메카니즘을 이용한 유압피스톤식 Pulley 를 개발하였으며, 이를 제작하고 성능시험을 통해 추락발생시 인명을 구조할 수 있을 만큼의 충분한 제동력이 발생됨을 확인하였으며, 실제 적용 가능성 또한 확인하였다. 따라서 타워크레인 등의 상층부로의 승하강시 작업자의 부주의로 인한 안전사고를 미연에 예방할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2 단계 두뇌한국 21 (BK21) 사업, 2009 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2007-0055842).

참고문헌

1. Kenji, M., "Differential gear," United States Patent, No. 6120407, 1999.
2. Gao, H., Barber, G. C. and Chu, H., "Friction characteristics of a paper-based friction material," Int. J. Automotive Technology, Vol. 3, No. 4, pp. 171-176, 2000.
3. Lee, B. H., "Limited Slip Differential and Effect of Transfer Torque on Vehicle Dynamics," KIA Technical Report, No. 13, pp. 135-142, 1990.
4. Korea Society of Automotive Engineer, "Handbook of Automotive technology," pp. 240-250, 1996.
5. Koo, J. M., Choi, C. H., Huh, Y. and Seok, C. S., "Development of a Hydraulic Limited Slip Differential System using a Pressure Generator," International Journal of Automotive Technology, Vol. 9, No. 3 pp. 323-327, 2008.
6. Seok, C. S., "Limited Slip Differential with Friction Using a Pressure Generating Device," United States Patent, No. PCT F16H 48/20, 2005.
7. Nyman, P., Mäki, R., Olsson, R. and Ganemi, B., "Influence of surface topography on friction characteristics in wet clutch applications," Wear, Vol. 261, No. 1, pp. 46-52, 2006.