

전동지게차용 변속 구동부 및 시험기 설계 Design of Speed-Variable Driving System and Tester for Electric Forklift Truck

심재현 · 강현국 · 함성훈 · 오세훈

J. H. Shim, H. K. Kang, S. H. Ham and S. H. Oh

Key Words : Speed Reducer(감속기), Planetary Gear(유성기어), Torque Meter(토크메타)

Abstract : The usage of electric forklift truck is gradually increasing due to the convenience at conveying and arranging the materials in the industrial field. In this study, the author designed and suggested the optimum driving system and load tester which both of them are the most important part of the forklift truck. The planetary gear is chose to driving system because it makes big power even though the motor size is small. The gear teeth of planetary gear were designed and the designed planetary gear was tested considering the yield strength and the abrasion of gear teeth. The B-Type electric brake which consists of multiple plates and operates with non-magnetic type was connected with a single shaft in the driving system. So, it can be applied at the sudden braking situation which has the torque increment. And it has the compact size and excellent durability. Load tester can give the various levels of load to the planetary gear of driving system in the electric forklift truck and it can also measure the levels of the load which were applied. Therefore, we can measure the noise, torque and perform the durability, vibration tests using load tester. It will be economical because many kinds of test can be performed using reasonable priced load tester The driving system of electric forklift truck which has sufficient competitive can be manufactured using our designed planetary gear reducer with reasonable price. The designed load tester can use for checking the performance of other reducers, as well.

Nomenclature

d_b : base diameter
 F_t : circumference force
 n : revolution number
 K_L : life factor
 K_{FX} : tooth size factor
 S_F : safety factor
 K_O : overload factor
 K_V : dynamic factor
 Y_F : geometry factor
 Y_β : twisted angle factor
 Y_ϵ : load distribution factor

d_0 : diameter of pitch circle
 Z_H : geometry factor
 Z_L : lubrication factor
 Z_m : material constant factor
 Z_R : coarse factor
 Z_V : lubrication velocity factor
 Z_W : hardness ratio factor
 Z_β : helix angle factor
 Z_ϵ : contact ratio factor

1. 서 론

지게차는 화물을 지상에서 임의의 높이까지 하역 후 정해진 곳까지 운반하는 고기능 하역 운반기기로서 하역운반에 따른 인건비 절감 및 생산성의 향상, 안전성 등 노동조건 개선과 화물의 원활한 입출고와 공간활용의 효율성 등을 향상시켜주는 장비

접수일 : 2007년 10월 08일, 채택확정 : 2008년 3월 18일
 오세훈(책임저자) : 중앙대학교 기계공학부
 E-mail : osh@cau.ac.kr Tel. 02-820-5314
 심재현, 강현국, 함성훈 : 중앙대학교 기계공학부

이다.

전동지게차 분야의 핵심부분 중 하나는 구동부이다. 전동지게차의 구동부는 출력을 대용량 모터에 의존하는 것이 아니라 상대적으로 저용량의 모터와 감속기를 사용하여 모터의 회전수를 필요한 회전수로 감속하는 동시에 큰 Torque를 얻고 배터리의 전력소모를 줄이며, 구동부의 부피를 줄임으로써 지게차의 디자인의 자유도를 높여야 한다.

기존의 지게차에서는 주로 단일 고정 감속비로 되어있는 유성기어 감속기를 사용한다. 간단한 구조이기 때문에 신뢰성이 높다고 볼 수 있으나, 저속구간에서의 효율이 50%도 못미쳐 배터리 소모가 크고 토크가 부족한 것이 단점이다.

본 연구에서는 2단 변속이 가능한 유성기어 감속기를 개발함으로써 구동모터의 발열문제를 해결하고 소모전력을 줄이며 주행 시 강한 토크가 필요한 구간에서 변속이 가능한 전동지게차용 구동부를 개발하였다. 감속기의 내구성, 소음, 신뢰성, 변속성능 등을 테스트 할 수 있는 테스터기도 함께 제작하여 감속기를 테스트하였다.

2. 유성기어 감속기의 설계 순서

유성기어는 축 평행기어의 조합으로 만드는 경우가 보통이다. 유성기어의 구조는 중심에 태양기어(sun 기어)가 있고, 그 주위에 유성기어(planet 기어)가 있으며 두 기어의 중심은 암에 의해 고정되어 있다. 또한 유성기어는 바깥에 있는 내기어와 맞물려 있다. 이 경우, 내기어를 고정하면 암이 출력축이 되고 암을 고정하면 내기어가 출력축이 된다.

유성기어는 입력축과 출력축을 동일 축 상에 배치할 수 있고 두 개 이상의 유성기어에 부하를 분산하여 장치를 소형으로 설계할 수 있다. 그리고 유성기어는 같은 크기의 다른 기어에 비하여 감속비가 큰 장점이 있다.

유성치차의 설계 순서는 우선 기본적인 설계사양을 검토한 후 중심거리, 모듈, 잇수 등의 기본제원의 결정 단계인 기본 설계를 한다.

기본설계단계에서는, 기어에 걸리는 하중과 운전 상태 등을 명확히 파악하여, Hertz 접촉응력을 기초로 한 K Factor^{1),2)}를 이용하여 재질과 열처리, 가공성 및 정밀도, 부품의 간섭 및 Bearing에 걸리는 하중 등을 고려하여 기어의 대략적인 크기(중심거리, 피치원직경, 치폭)를 결정한다.

다음에 강도계산^{3),4)}에 필요한 기어의 제원인 압력각, 모듈, 잇수 등을 결정하여 기본 설계를 끝낸다.

그 후에 강도평가를 통하여 강도상 만족여부를 판단 및 상세한 제원 결정을 하는 상세 설계를 통하여 도면작성 및 각 부품 설계를 하며 전위, 치형수정 등에 관한 상세한 설계를 한다.

이제까지의 계산결과를 검토하여 기본설계시의 치차제원을 수정해야 할 필요가 있다면 제원수정 후 같은 순서를 반복하여 행한다.^{5),6)}

이러한 방법을 flow chart로 Fig. 1에 나타내었다.

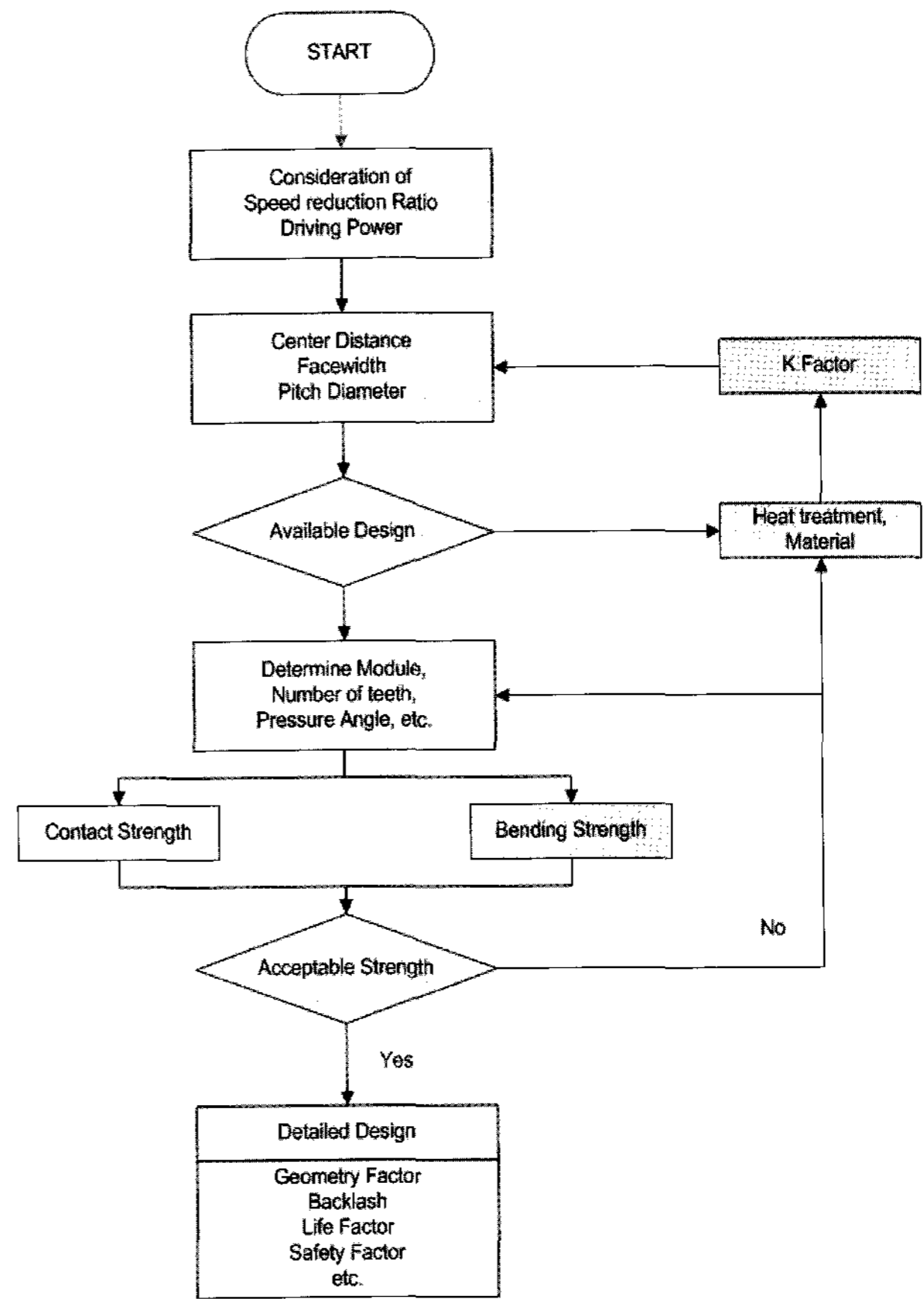


Fig. 1 Flow chart of gear design

3. 유성치차 장치의 분류

유성치차장치의 종류는 대단히 많지만, 최근에는 다음에 서술한 소련의 크드리야후츠예프씨의 분류법이 많이 사용되어지게 되었다.

유성치차장치는 구동축, 종동축, 고정축의 3개의 기본축으로 되고, 이들 기본축은 모두 동축상에 배치된다.

Fig. 2(a), (b), (c)에 표시한 것은 모두 태양외치차 A, 태양내치차 C 및 캐리어 S의 축이 기본축이

고 2개의 태양치차 축과 1개의 캐리어 축이 기본축으로 되어 있으므로 이것을 2K-H형 유성치차장치라 부르며, 특히 이런 형태를 단순 유성치차장치 (Simple Planetary Gear)라 부른다.

Fig. 2(a)에서는 태양내치차(Ring gear) C의 축이 고정축이 되고, 태양외치차(Sun gear) A의 축이 구동축이고, 캐리어 S의 축이 종동축이고, S축은 A축과 동방향 회전하여 감속된다.

Fig. 2(b)에서는 태양외치차 A의 축이 고정축이고 C축이 구동축이며, S축이 종동축이고, S축은 C축과 동방향 회전으로 감속된다.

Fig. 2(c)에서는 캐리어 S를 고정축, 태양외기어 A축을 구동축으로 하여, 태양내기어 C축이 종동축이 되어 A축의 역방향으로 감속된다.

더욱이 치차 B는 공전운동과 자전운동에 의해 유성운동을 하는 유성치차이다. 지금 기본축으로 되는 태양치차(외치차, 내치차를 포함)의 축을 K, 캐리어 축을 H, 유성기어 축을 V로 표시하면 유성치차장치는 다음과 같이 2K-H형, 3K형, K-H-V형 및 2개 이상의 2K-H형이 연결에 의한 복합 유성치차장치로 분류된다.⁷⁾

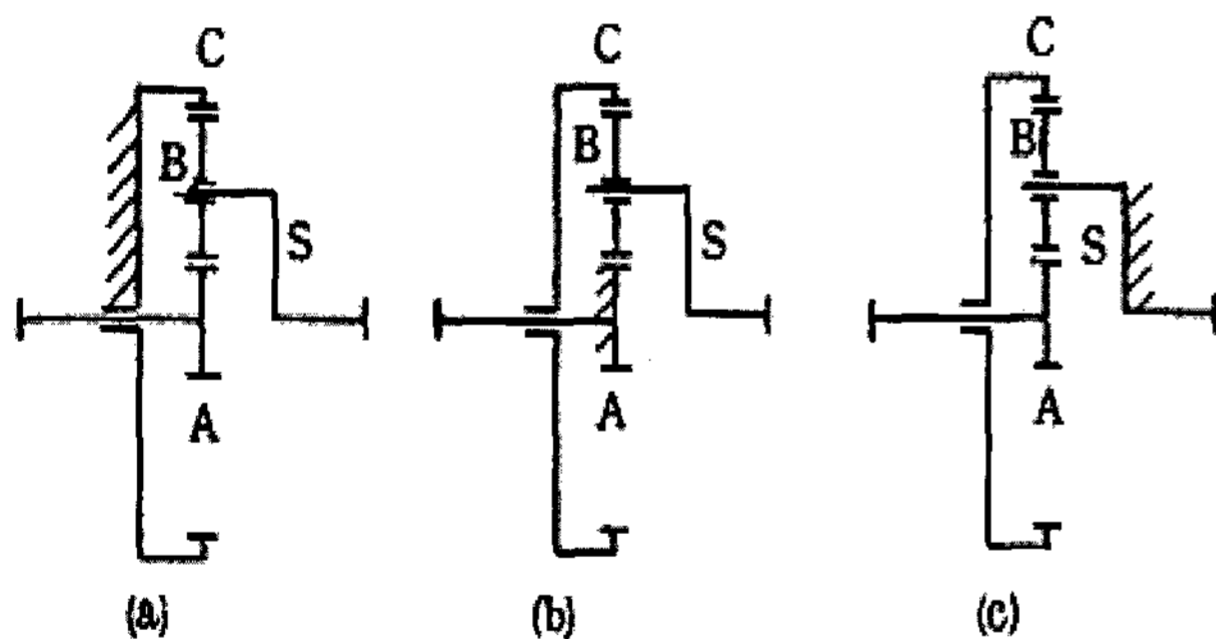


Fig. 2 2K-H type planetary gears

4. 2단 변속 감속기 제작

4.1 Planetary形 유성기어 감속기

전동지게차용 2단 변속 감속기를 개발하기 위하여 Planetary形의 감속기 2개를 연결하여 2단 변속이 가능하도록 설계하였다.

우선, Planetary形의 구조 및 동력의 전달방법을 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 선기어를 입력축으로 하여 링기어는 고정되고 출력은 캐리어축이 된다.

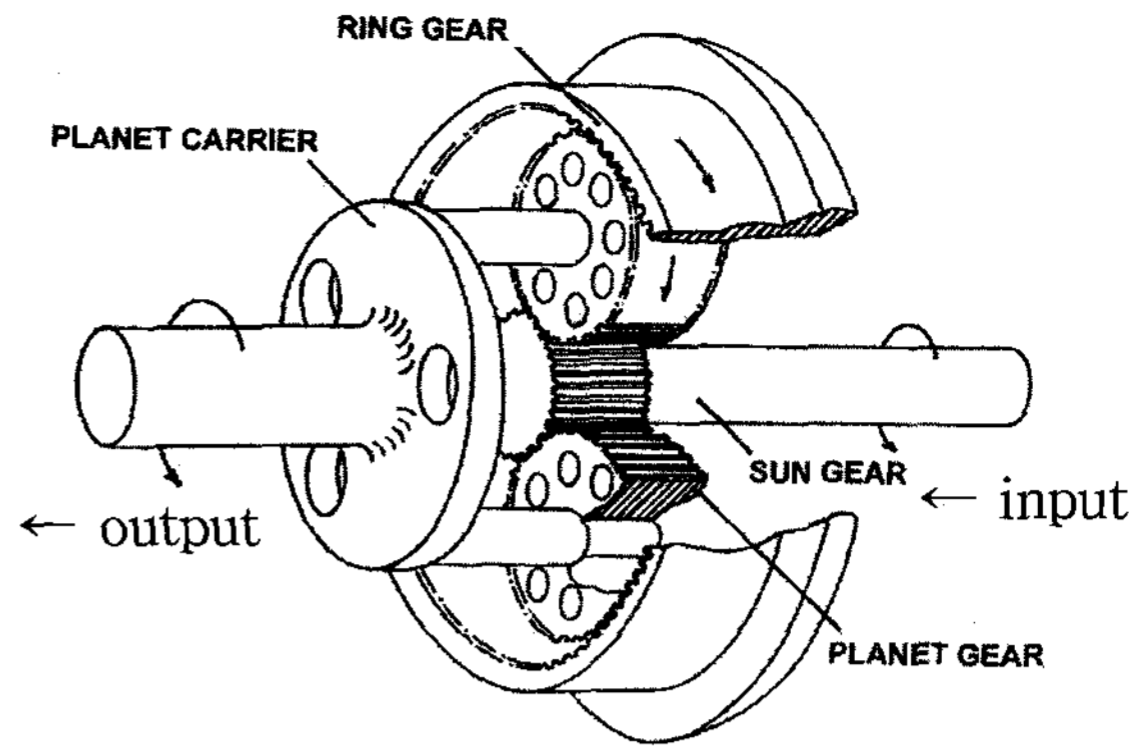


Fig. 3 Components & process of Planetary gear device

그리고 數表法으로 계산하면 속도전달비는 다음과 같다.^{8)~10)}

Table 1 Transmission of Planetary type

NO	case	sun gear A Z_a	planetary gear B Z_b	ring gear Z_c	carrier D
1	carrier fixed gear A: 1 rev.	+1	$-\frac{Z_a}{Z_b}$	$-\frac{Z_a}{Z_c}$	0
2	all gear rotating	$+\frac{Z_a}{Z_c}$	$+\frac{Z_a}{Z_c}$	$+\frac{Z_a}{Z_c}$	$+\frac{Z_a}{Z_c}$
3	combination 1&2	$1 + \frac{Z_a}{Z_c}$	$\frac{Z_a}{Z_c} - \frac{Z_a}{Z_b}$	0 (fixed)	$+\frac{Z_a}{Z_c}$

$$\text{속도전달비} = \frac{\frac{Z_a}{Z_c}}{1 + \frac{Z_a}{Z_c}} = \frac{1}{\frac{Z_c}{Z_a} + 1} \quad (1)$$

(단, 입력축과 출력축의 회전방향은 같다.)

4.2 2단 변속감속기의 원리

Planetary 형태의 서로 다른 속도전달비를 가지고 있는 2개의 유성치차장치에 있는 각각의 선기어를 하나의 축으로 연결하여 이 축을 축방향 이동하여 선기어를 이동할 수 있도록 한다. 이때 선기어는 2개의 유성치차장치 중 한 곳에만 물리도록 하여 모터로부터의 전달되는 토크를 원하는 유성치차장치에 전달하게 하였다. Fig. 4에 그 구조를 간략하게 구성하였다.

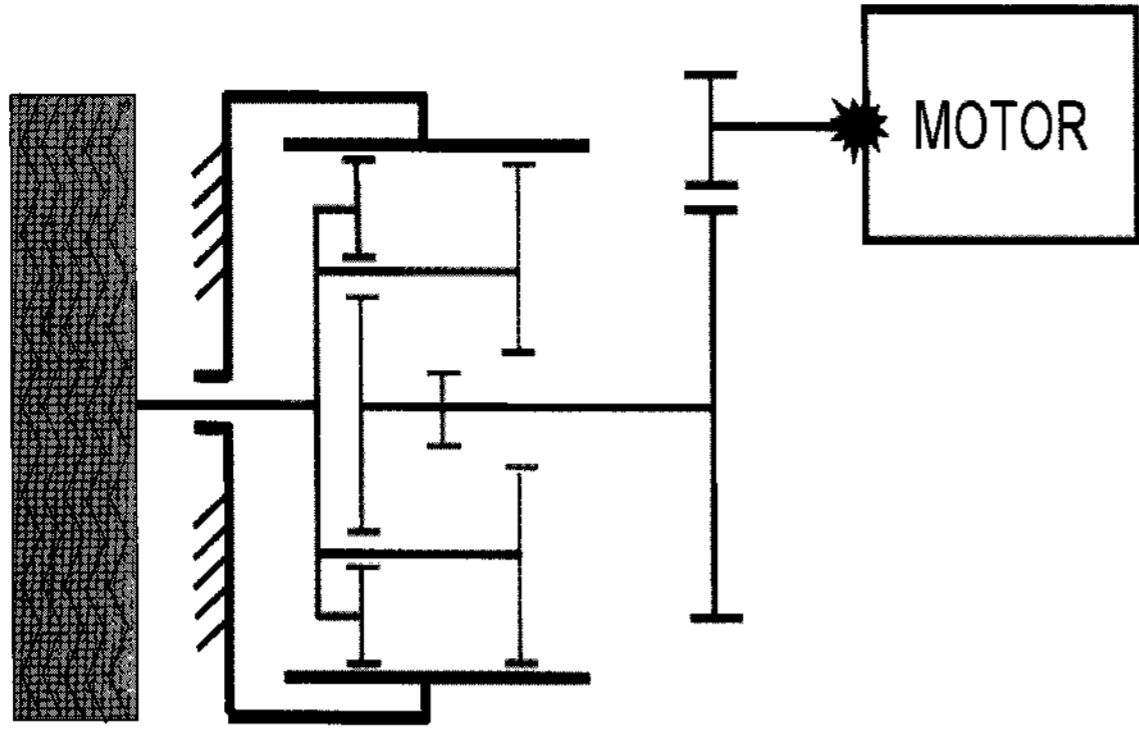


Fig. 4 Principle of shift gears

4.3 2.5kW & 5.5kW급 2단 변속 감속기

앞서 제시한 개념을 이용하여 2.5kW와 5.5kW급의 2가지 용량으로 2단변속이 가능한 전동지게차용 감속기를 개발하여 제작하였다.



Photo. 1 2.5kW speed reducer

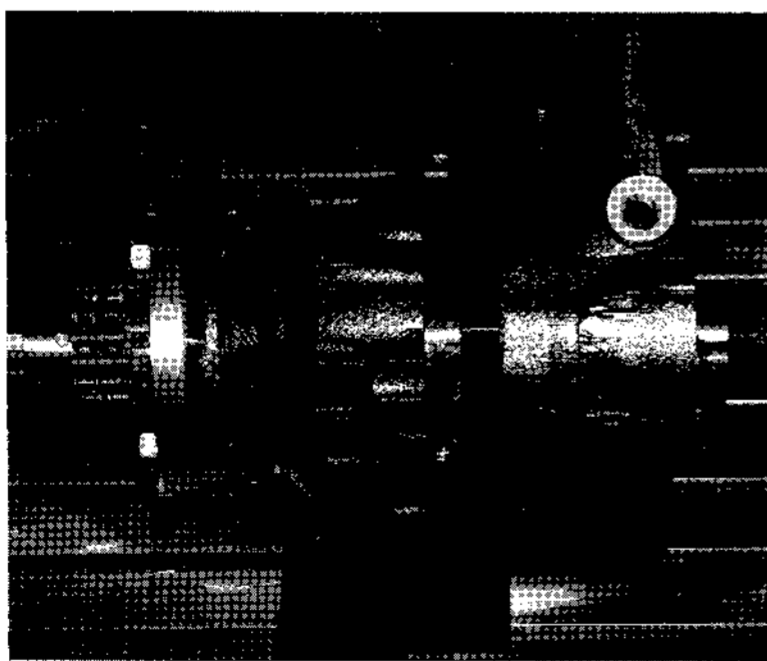


Photo. 2 5.5kW speed reducer

5. 2단 변속 감속기의 시험기 제작

5.1 2.5kW급 감속기의 시험기 제작

타이어간 접촉 핸들을 이용하여 감속기 구동부가 장착된 구동타이어를 드럼브레이크가 장착된 부하작용 타이어에 밀착시킨다. 컨트롤 박스를 통한

PLC제어를 통하여 감속기를 ‘구동’, ‘가감속’, ‘고속-저속간 변속’을 실행하여 감속기 테스트할 수 있다.

부하작용 타이어에 부하량을 증가시키며 감속기의 내구성, 소음 테스트 등을 할 수 있다.

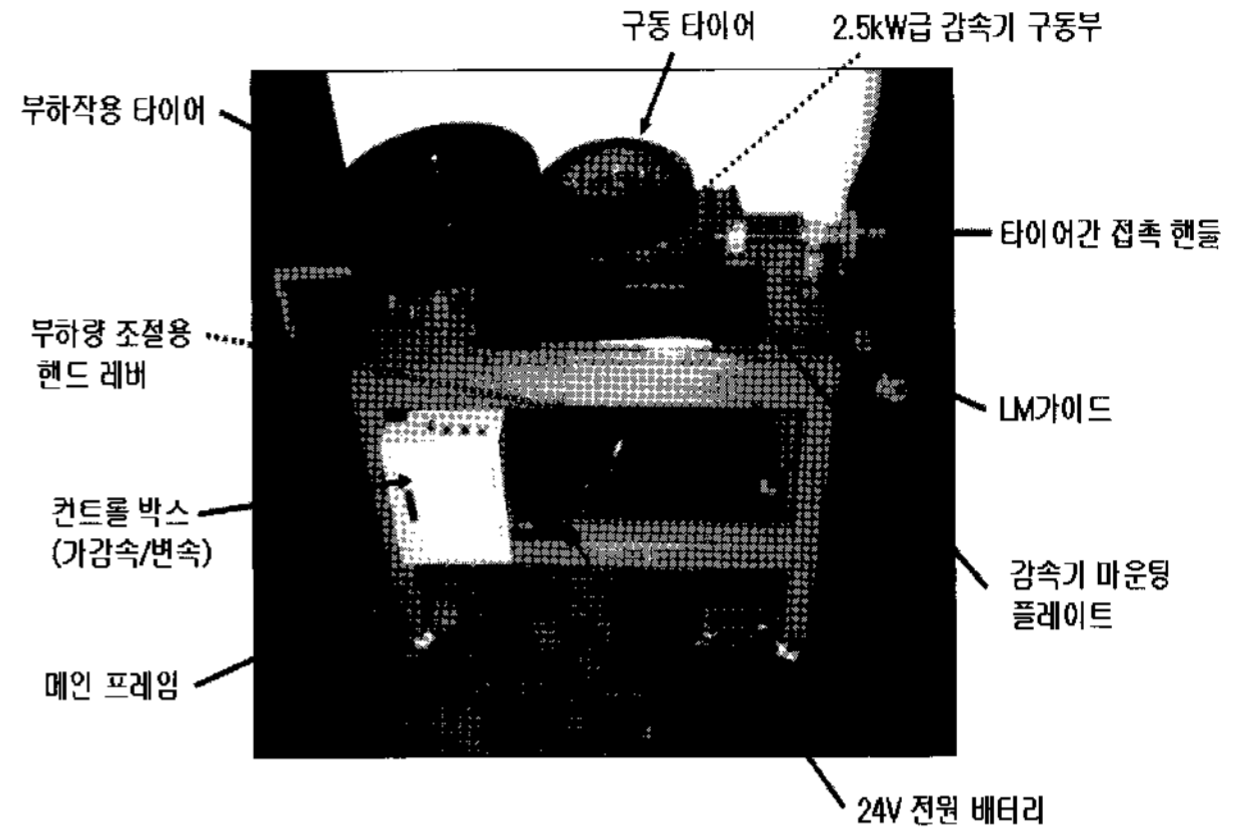


Photo. 3 Tester for 2.5kW speed reducer

감속기의 고속모드와 저속모드간의 변경 및 구동 모터의 변속을 위한 제어는 PLC를 이용하여 구성하였다. 이 flow chart를 Fig. 5에 나타내었고 circuit diagram은 Fig. 6에 나타내었다.

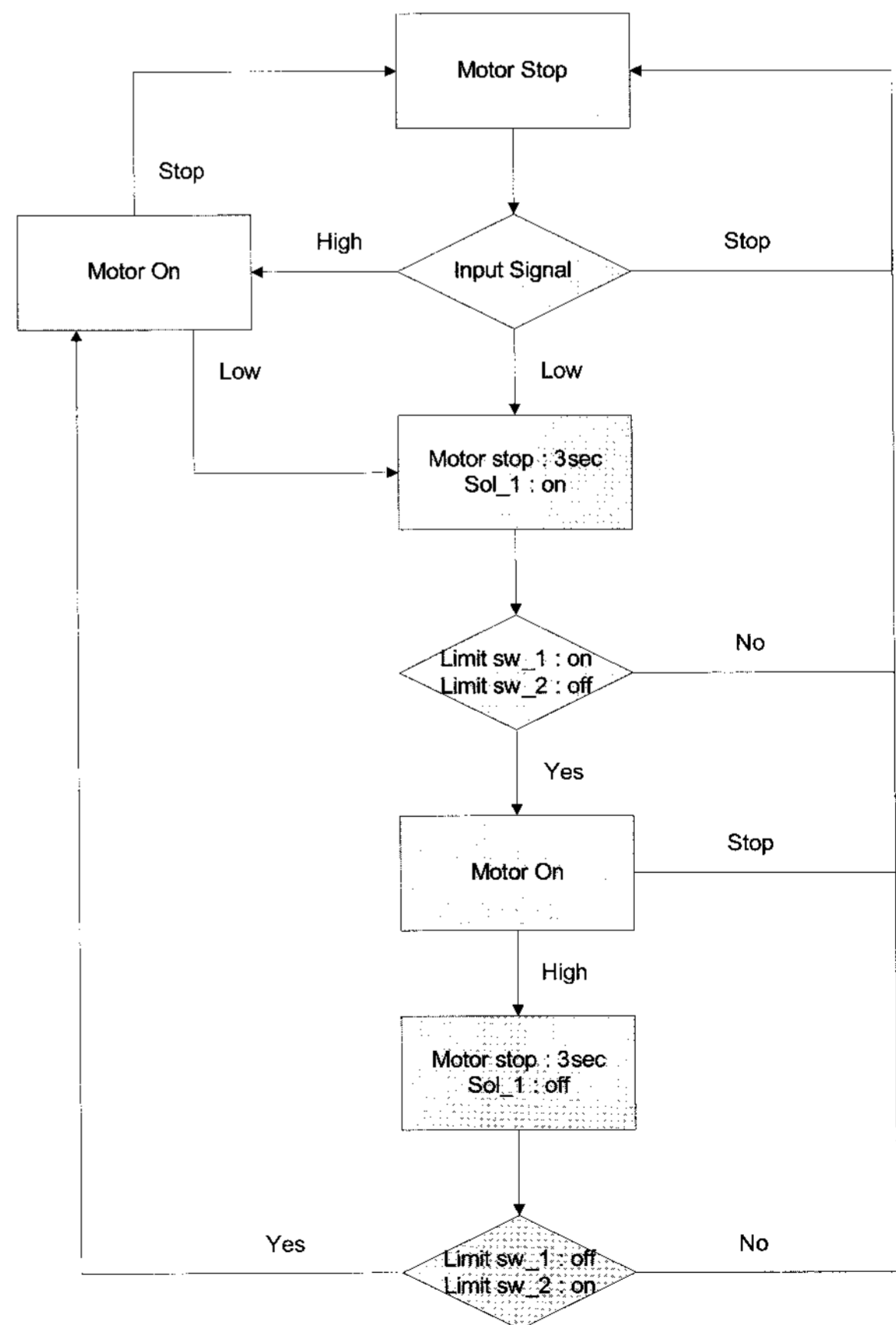


Fig. 5 Flow chart of PLC controller

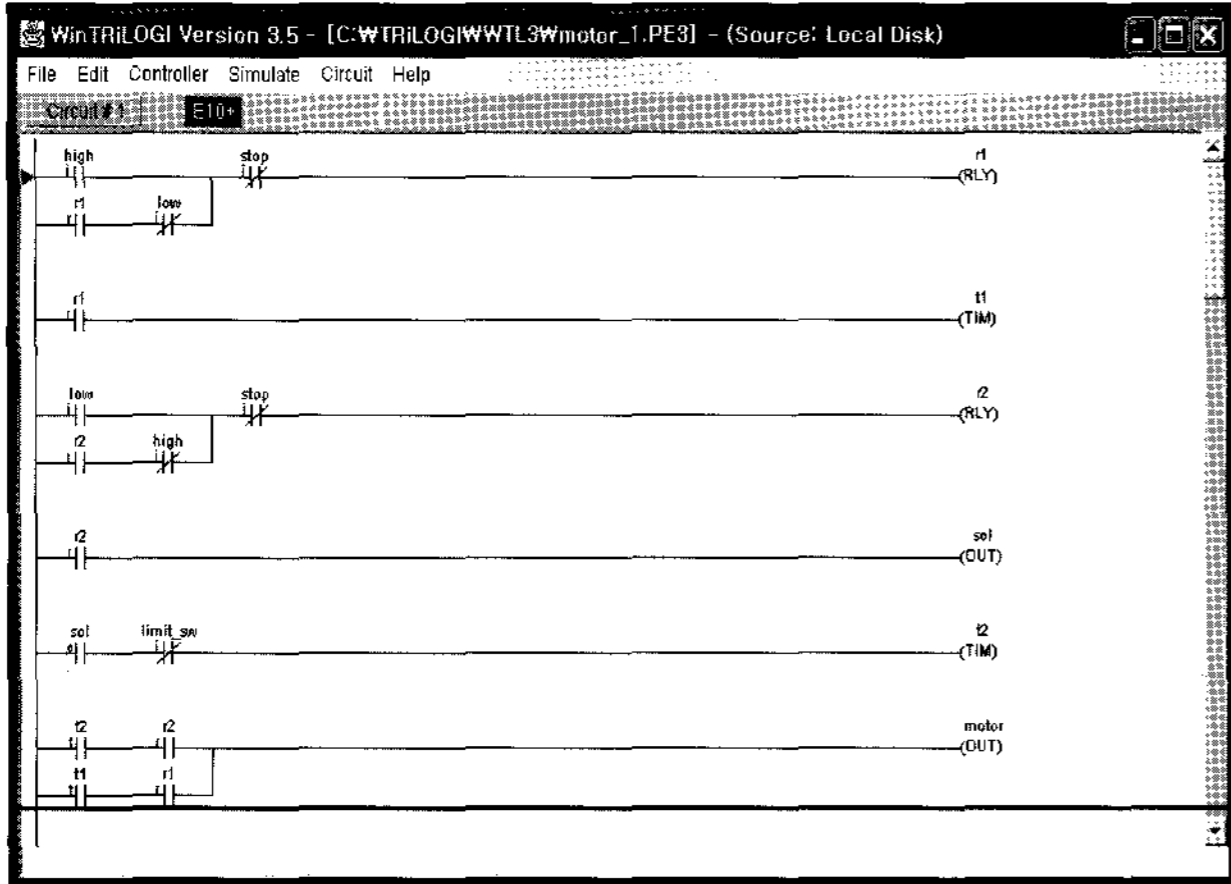


Fig. 6 Circuit diagram of PLC controller

5.2 5.5kW급 감속기의 시험기 제작

서보모터를 이용하여 감속기를 작동시킨다. 서보모터와 감속기 사이에 rpm 측정 변위센서와 토크미터를 장착하여 입력축의 rpm 및 토크를 측정한다. 감속기의 출력축에 전자브레이크 및 bar를 이용하여 로드셀을 장치하여 출력축의 rpm 및 토크를 측정한다. 감속기의 효율 및 2단 변속 상태, 가감속 상태, 소음, 내구성 등을 측정이 가능하다.^{11),12)}

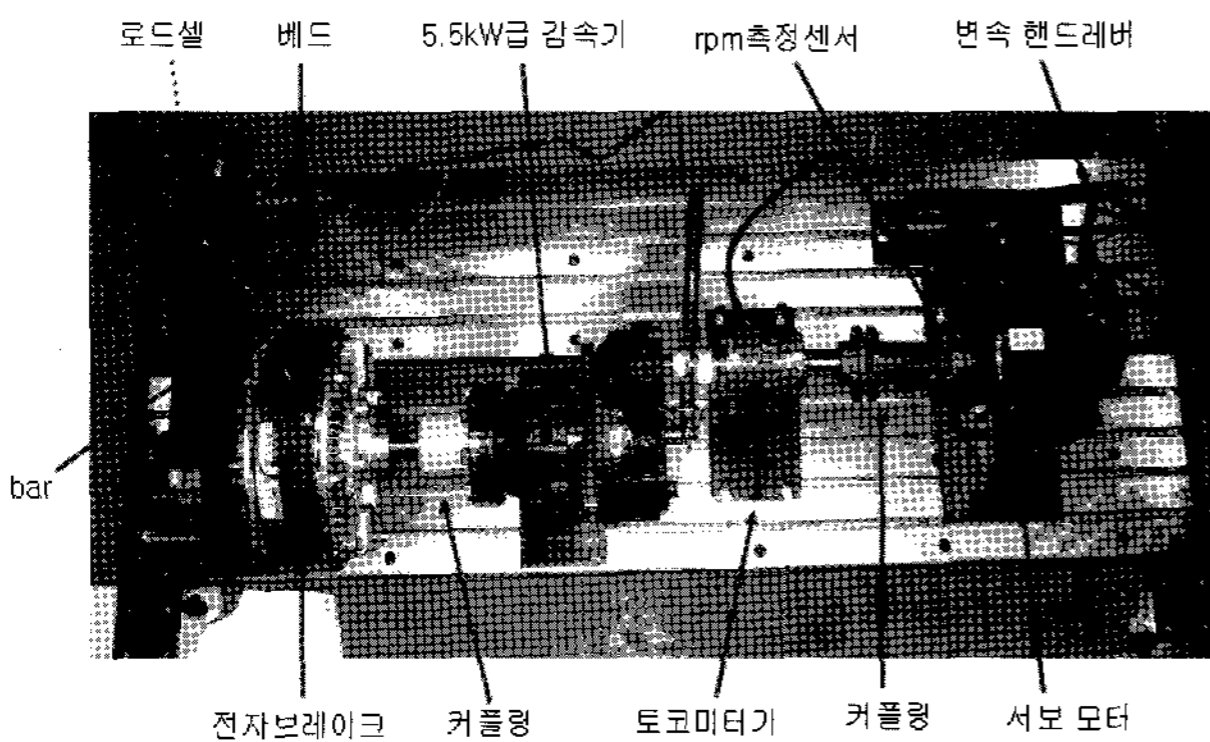


Photo. 4 Tester for 5.5kW speed reducer (bed part)

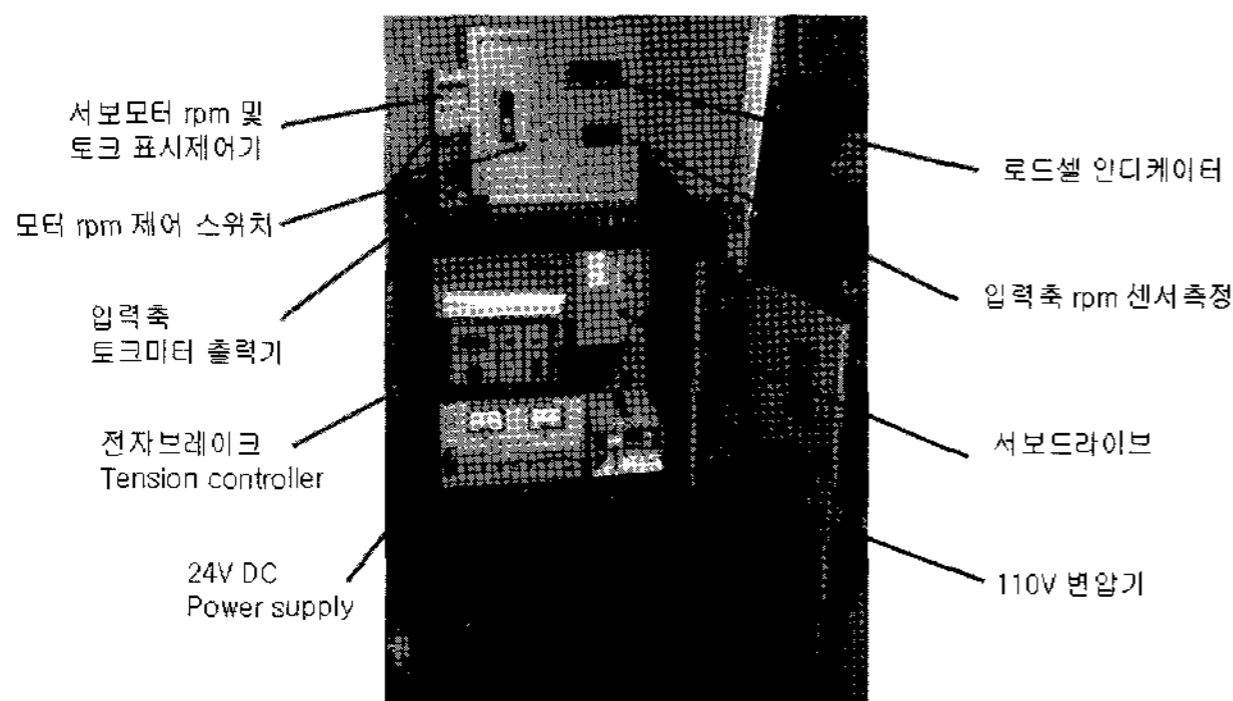


Photo. 5 Tester for 5.5kW speed reducer (controller part)

6. 5.5kW급 2단변속 감속기의 성능시험

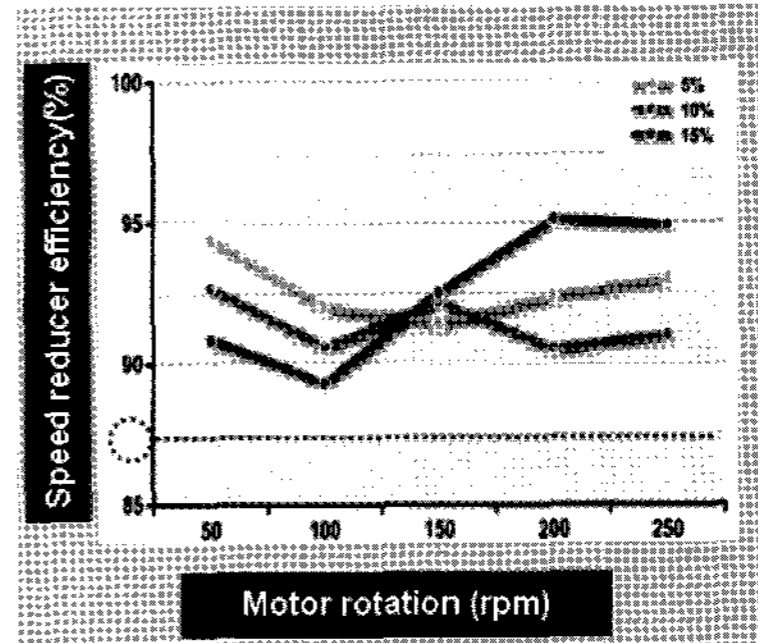


Fig. 7 '5.5kW speed reducer' efficiency measurement (High-speed Mode)

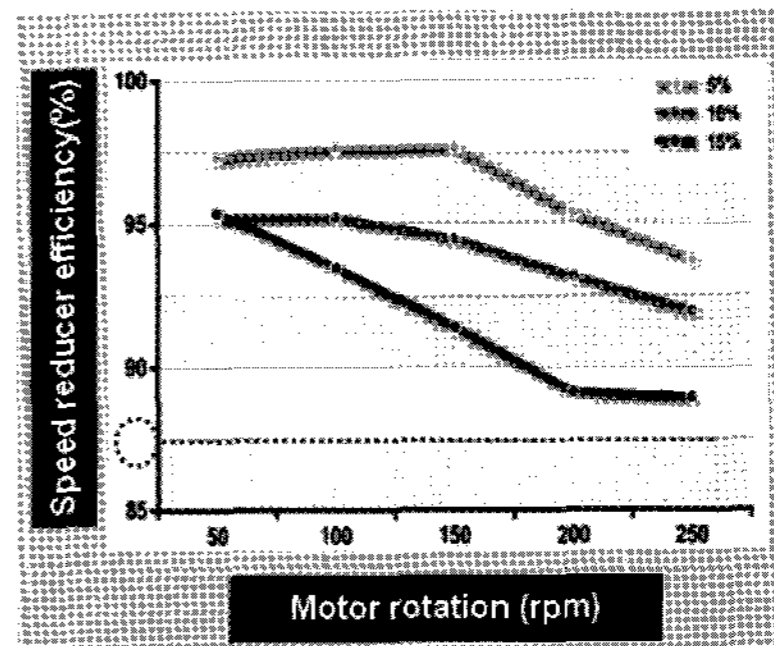


Fig. 8 '5.5kW speed reducer' efficiency measurement (Low-speed Mode)

Fig. 7는 제작한 5.5kW급 전동지게차용 감속기의 고속모드에서 모터 rpm과 부하에 따른 효율 그래프이고 Fig. 8은 저속모드에서의 효율 그래프이다. 효율이 90% 내외로 상당히 양호함을 알 수 있다.

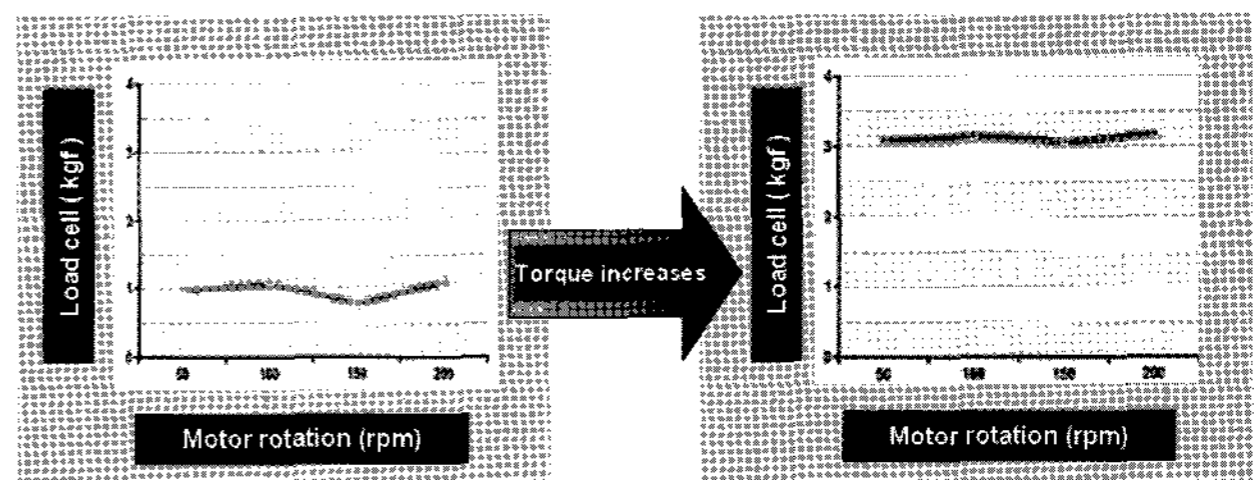


Fig. 9 Increase of torque by mode change

Fig. 9은 5.5kW급 전동지게차용 감속기의 고속모드에서 로드셀에서 측정한 부하값(토크)을 저속모드로 변속시 측정한 부하값(토크)을 나타낸다. 토크량이 3배가량 증가함을 알 수 있다. 토크가 고속모드로 주행하다 경사로를 주행시 저속모드로 변속시 큰 토크를 얻을 수 있고, 배터리의 소비를 줄일 수 있어 효율적인 주행이 가능하다는 것을 알 수 있다.

7. 결 론

전동지게차는 엔진지게차에 비하여 운전 및 조작성이 양호하고 수리 및 유지비가 적게 든다. 환경적으로도 소음이 적으며 배기가스에 의한 공해나 운반물의 오염이 없기 때문에 공장의 실내 작업장에서 많이 활용되고 있고 점차 실외 작업장에서도 활용되고 있다.

하지만 기존의 1단 고정 감속기를 이용한 전동지게차는 경사로 주행이나 많은 짐을 싣고 이동할 때 많은 배터리 소비와 부족한 토크가 문제시 되었다. 또한, 적은 짐을 싣고 이동할 때 좀더 신속한 이동을 하기엔 고정감속비의 감속기는 업무의 효율성을 떨어 뜨린다.

따라서 Planetary形의 감속기 2개를 한 세트로 하 구성하는 개념으로 제작을 시작하였다. 변속 방법은 두 감속기의 공통된 입력축인 선기어 축을 축방향으로 이동할 수 있도록 하여 입력 토크를 고속모드용 감속기와 저속모드용 감속기 사이에서 원하는 감속기쪽으로 전달할 수 있도록 개발하였다.

제작시 가장 문제시 되었던 부분은 한쪽 모드에서 3개의 플래닛기어와 1개의 링기어에 동시에 맞물려 있던 선기어가 다른 모드의 감속기에 있는 3개의 플래닛 기어와 1개의 링기어에 부드럽게 변속이 되느냐 하는 것이었다.

2단변속 감속기를 제작하면서 DC모터보다는 AC모터를 이용하여 제작할 경우 변속이 양호하게 이루어 질 수 있다는 것과 선기어의 안정성, 내구성을 위한 치형 및 형상이 가장 중요하였다.

고속과 저속의 2단 변속이 가능한 2단 변속 시스템을 개발하였고 감속기 개발에 필요한 테스트기 또한 제작하였다. 이로써 소형 전동지게차의 구동부 국산화에 새로운 시장을 기대할 수 있으며 2단 변속이 가능한 감속기는 전동지게차 외에도 전동휠체어와 골프카 등의 전동구동부에 응용이 가능하여 그 활용도가 높다고 하겠다.

참고문헌

1. Dudley. D. W., 1984, "Handbook of Practical Gear Design", Mc Graw-Hill.
2. 仙波正莊, 1991, "齒車動力機械設計のポイント", 日本規格協會.
3. JGMA 401-01, 1974, "平齒車およびはすば齒

車の曲げ強さ設計式", JGMA.

4. JGMA 402-01, 1975, "平齒車およびはすば齒車の曲げ強さ設計式", JGMA.

5. 김용민, 2000, "백래쉬 제거 유성기어를 이용한 구동부 설계", 中央大學校 大學院.

6. 정태형, 변준형, 윤성진, 이청신, 1994, "내접치차의 굽힘강도에 관한 연구", 大韓機械學會論文集, 第18卷, 第5號, pp. 1126~1133.

7. 김진선, 1987, "외접치차의 치형계수에 관한 연구", 漢陽大學校 産業大學院.

8. Nicholas P. Chironis, "Gear Design and Application", McGraw-Hill, pp. 2~24.

9. Darle W. Dudley, 1984, "Handbook of Practical Gear Design", McGraw-Hill, pp. 2.1~3.153.

10. J. R Colborne, 1987, "The Geometry of Involute Gear", Spinger-Verlag.

11. KOMOTEK, 2006, "SERVO MOTOR".

12. DAISOCELL, 2006, "LOAD CELL" catalog.