한국마린엔지니어링학회지 제36권 제5호, pp. 700~706, 2012. 7(ISSN 2234-8352 Online) / (ISSN 2234-7925 Print)
Journal of the Korean Society of Marine Engineering http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2012.36.5.700

이동식발전설비의 기동전동기용 전자식 시동 제어장치 개발

김종수[1] · 윤경국[2] · 서동환†

(원고접수일 : 2012년 5월 21일, 원고수정일 : 2012년 7월 13일, 심사완료일 : 2012년 7월 13일)

Development of an Electronic Starting Controller for Starting Motor of Packaged Power Systems

Jong-Su Kim[1] · Kyoung-Kuk Yoon[2] · Dong-Hoan Seo†

요 약 : 이동식발전설비에서 시동장치의 핵심기술은 피니언기어 쉬프팅 장치와 초기 기동전압을 제한하는 것이며 기존의 제품에서는 기계적 주접점을 이용한 시동 제어장치를 사용하고 있다. 하지만 완전한 피니언기어 쉬프팅 후 시동전동기의 기동의 불확실성이나 대전류에 의한 주접점의 아크손상 등의 큰 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 기동의 불확실성 제거를 위한 피니언기어 쉬프팅 제어회로, 대전류에 의한 접점의 아크손상 방지를 위해 반도체 소자를 이용한 시동 제어 시스템, 직권전동기의 소프트 스타팅을 위한 기동 안전장치 등을 새롭게 설계, 제작하여 안전성과 신뢰성을 얻고자 하였다. 또한, 피니언기어 제어회로와 전동기 전원회로를 분리하여 전기적 안전성을 확보하였다.

주제어 : 이동식발전설비, 피니언기어 쉬프팅, 기계적 주접점, 시동 제어장치, 아크손상, 반도체 소자, 소프트 스타팅

Abstract: The core technology of a starting device in the packaged power system is the pinion gear shifting device and to limit the initial starting voltage. Although the conventional products have been used the starting controller using mechanical contactor, these have a big problem such as the uncertainty for the start of starting motor after a pinion gear is completely shifted or the arc demage due to high current. In this study, in order to solve these problems, we designed and fabricated a new product to achieve the safety and reliability as follows: the pinion gear-shifting control circuits to eliminate the uncertainty of the start, the starting control system using semiconductor device to prevent the arc demage of contactor caused by high current, a start safety devices for soft starting of series motor. In addition, we obtained the electrical safety by separating the pinion gear control circuit and the source circuit of motor.

Key words: Packaged power systems, Pinion gear shifting, Mechanical Contactor, Starting Controller, Arc demage, Semiconductor, Soft starting

1. 서 론

직권전동기의 큰 토크 특성을 이용하는 전기시동전동기[1,2]를 이동식발전설비, 기관차, 선박, 지하철 등의 디젤엔진 기동시스템으로 사용할 경우에는 공기시동시스템과는 달리, 전기에너지를 직접 기계에너지로 변환함으로써 에너지 효율을 증가시킬 수 있으며 부피와 용적률 및 비용 면에서 43% 이상의 절감 효과를 얻을 수 있으며 안전사고의 위험이 적어지고, 작업의 효율성이 높아 공기시동방식에 비해 선호도가 증가할 것으로 예상된다

† 교신저자(한국해양대학교 전기전자공학부, E-mail:dhseo@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4412)
1 한국해양대학교기관시스템공학부, E-mail:jongskim@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4831
2 (주)씨넷, E-mail:navy2@paran.com, Tel: 010-5541-0424

[3]. 또한, 기존의 공기시동시스템에 공급되어야 하는 전력이 필요하지 않으므로 설치에 있어서도 1차 전원 공급이 어려운 도서지역이나 오지 등의 지역적 제한이 없어지는 큰 효과를 얻게 된다.

하지만 현재 국내에서 건조되고 있는 전기시동전동기는 국외 업체의 OEM 방식으로 유통되고 있거나 유럽에서 제작된 전동기를 직접 수입하여 사용하고 있는 등 전량 수입에 의존하고 있는 실정으로 국내에서는 개발 및 생산이 전혀 되지 않고 있다. 그로인해 이동식발전설비를 대량으로 생산하고 있는 국내 업체에서도 수출 증가에 따라 손실액은 더욱 증가할 것으로 예상된다. 전기시동 전동기 국산화 개발에 있어서 핵심 기술은 시동전동기의 피니언 기어와 엔진 플라이휠이 접속되어 회전할 수 있도록 하는 쉬프팅(Shifting) 기능, 시동전동기의 기동 시 인가되는 과도한 기동 전류를 제한하고 스위치에서 발생되는 아크 손상(Arc demage)을 방지할 수 있는 기동 접점과 제어시스템, 전기시동 전동기에 전원을 공급하는 주접점의 소프트 스타팅(Soft starting)을 통해서 배터리, 릴레이 및 시동 전동기에 전기적 충격을 주는 돌입 전류를 제한하는 안전장치 등이다[4].

본 연구에서는 1차 연구에서 개발한 전기시동전동기의 전기적 문제점을 해결하기 위해서 대전류에 의한 릴레이의 아크 손상 방지를 목적으로 반도체 소자(SCR)를 이용한 시동 제어장치, 돌입 전류에 의한 시동 시 릴레이 및 직권 전동기(Series motor)에 가해지는 전기적 손상을 방지하기 위한 소프트 스타팅 장치를 개발하였다. 기술적 측면, 기능적 측면 및 안전성 측면의 비교 분석을 위해 외자품을 구입하였으며, 개발 시제품과의 특성 비교 분석을 통하여 우수성을 입증하였다.

2. 전기시동전동기

전기시동전동기의 시동장치는 구조가 간단하고 견고하여 사소한 고장이 발생할 가능성이 적고 전기회로 부품이나 전력전자소자가 사용되지 않아 진동이 심하거나 고온, 다습한 여건 하에서도 강인함을 가지고 있으며 동선, 동판 및 철심 등 비교적 값싼 소재들이 사용되므로 제작비가 저렴한 장점을 가지고 있다[1-3]. 그러나 시동을 위한 주접점 및 보조접점 개폐 시 접점에서 큰 스파크가 발생하므로 접촉단자가 손상될 우려가 있으며 설비가 컨테이너 등에 장착되므로 불꽃에 의해 구동장치 근처에 인화물질이 있을 경우 화재의 위험이 있다. 그러므로 주기적으로 릴레이 및 접점의 점검 및 보수가 요구되는 문제점을 내포하고 있다. 전기시동전동기는 엔진 링기어(Ring gear)에 치합되는 피니언(Pinion), 전동기의 오버러닝을 방지하는 클러치(Clutch), 모터와 솔레노이드(Solenoid) 스위치가 일직선으로 배열되도록 구성되고, 모터의 축을 이동가능하게 하는 아마추어 축의 끝단에 스플라인(Spline)을 형성하여 피니언 축의 스플라인과 치합되게 하고, 솔레노이드 스위치에 의하여 작동되는 브레이크의 작용에 의해 피니언이 엔진 링기어에 치합되어 운전 시 피니언의 회전 속도가 모터의 회전 속도보다 빠른 경우에는 스플라인의 작용에 의해 피니언이 후퇴하여 엔진 링기어와의 결합이 해제되도록 작동하는 것이 기본 원리이다. **Figure 1**은 1차 연구에서 개발한 전기시동전동기의 구조도이다.

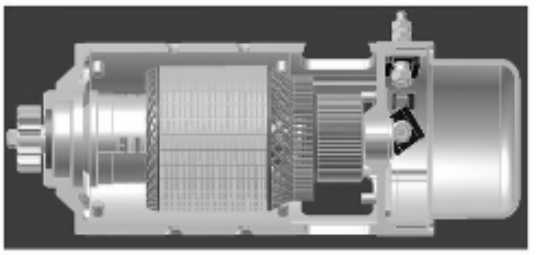


Figure 1: Diagram of electric starting motor

3. 전기시동전동기 시동장치

3.1 기계식 주접점을 갖는 시동장치

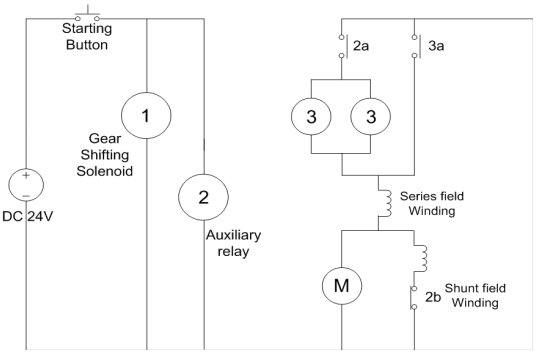
직류 직권전동기의 계자와 전기자 권선, 정류자 및 브러시 등에 기동 시 인가되는 과도한 기동 전류를 제한시키고 스위치의 아크 손상(Arc Demage)을 방지하기 위하여 기존의 시동장치는 솔레노이드 스위치, 인입코일, 저항 등을 이용한다. 그러나 초기 기동 시 대전류가 인가되어 기계적 주접점의 개폐시 심한 아크 손상이 발생되어 주접점의 교환

및 보수가 주기적으로 필요하다. 또한, 피니언기어와 엔진 링기어가 완전한 접속 후 직권 전동기 기동이 이루어질 수 있는 안전장치가 설치되지 않은 관계로 기어 접촉부에 심각한 파손을 초래할 수 있다. 전원회로에 있어서도 전동기 구동을 위한 전원공급 접점과 기어 쉬프팅에 의한 기계접점에 공급되는 전원이 동일하여 사고 시 과전류에 의한 제어회로 및 접점의 손상이 발생할 수 있다. 이와 같이 기계적 주접점을 갖는 시동장치는 운용 중 심각한 사고를 야기할 수 있는 문제점을 가지고 있다. 핵심 구성요소는 피니언기어 전진을 위한 자화력을 발생시키는 인입코일과 초기 기동전압을 제한하는 저항이다. **Figure 2**는 기계식 주접점을 갖는 시동장치이다.

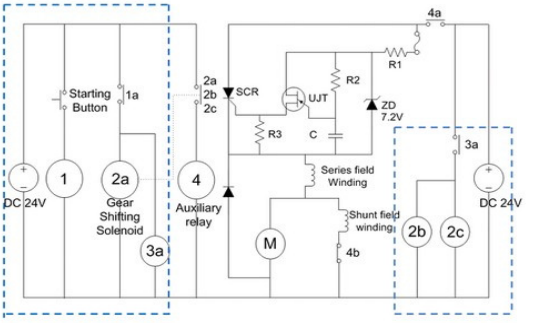
Figure 2: Starting controller using mechanical contactor

3.2 전자식 시동장치

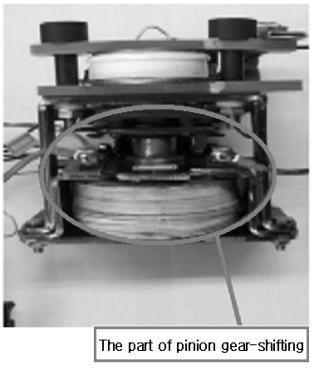
본 연구에서는 기존의 기계식 주접점을 갖는 시동 제어장치의 문제점을 개선하고 안전성을 추가 확보하기 위해서 피니언기어 쉬프팅 제어회로, 대전류에 의한 접점의 아크손상 방지를 위해 반도체 소자를 이용한 시동 제어시스템[5], 직권전동기(Series Motor)의 소프트 스타팅을 위한 기동 안전장치 등을 새롭게 설계, 제작하여 안전성과 독창성을 확보하고자 하였다. 또한, 전동기축을 플라이휠 기어로 이동시켜 맞물리는 장치와 전동기를 전원에 연결하는 주접점의 온-오프 장치를 분리하였다. 피니언 기어 쉬프팅에 필요한 안전장치로써 기어가 완전 인입 후 주접점의 동작이 가능하도록 하였으며 축 이동장치로부터 주접점을 분리함으로써 주접점의 고착에 의해 축이 복귀하지 않는 사고의 가능성을 제거하였고 주 접점의 제작 및 보수가 용이하게 하였다. **Figure 3**의 (a)는 기존의 피니언 기어 쉬프팅 제어회로이며 릴레이들에 의해 피니언 기어가 플라이휠 링 기어와 맞물릴 경우 전동기의 전원을 공급하는 기계식 주접점이 닫히므로 즉시 전동기가 기동되는 구조이다. 이 시스템은 주접점이 기어 쉬프팅 장치 끝단에 설치되어 있으므로 기동중 주접점이 과전류에 의한 소손으로 고



(a)



(b)

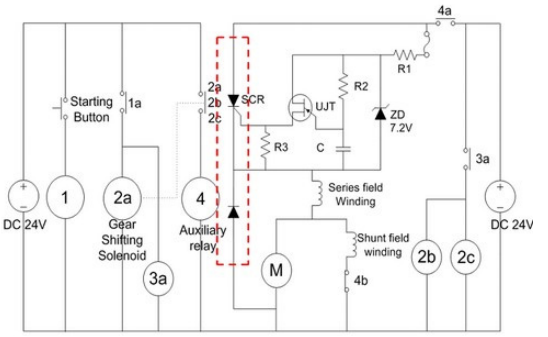


(c)

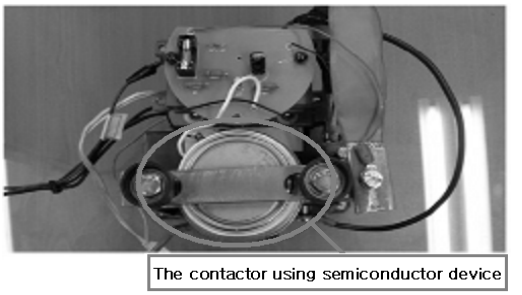
Figure 3: Device of gear shifting

착될 경우 기어의 분리 및 전원공급차단이 지연되거나 불가능한 사고가 유발될 수 있다. 하지만 제안된 (b), (c)의 피니언기어 쉬프팅 제어장치는 기어 쉬프팅 릴레이에 의해 동작되는 기계접점(직렬 연결된 접점 2a, 2b, 2c)과 전동기 전원공급용 접점(4a)을 분리시킴으로써 기어의 확실한 쉬프팅 후 전동기 구동 전원이 공급되며 또한, 기계접점에는 보조 릴레이(4) 구동용의 비교적 적은 전류가 흐르므로 기존의 방식에서 발생 가능한 사고의 위험을 제거하였다.

대전류에 의한 릴레이의 아크 손상 방지를 위한 전자식 스위치를 설치하였으며 **Figure 4**는 반도체 소자를 이용한 시동 제어장치를 보여주고 있다.



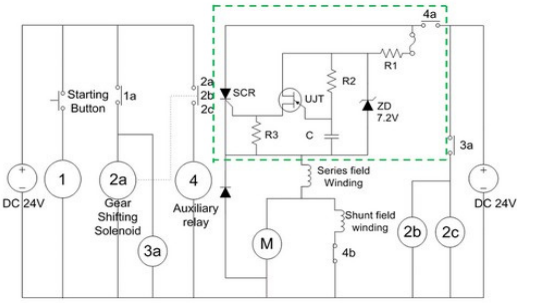
(a)



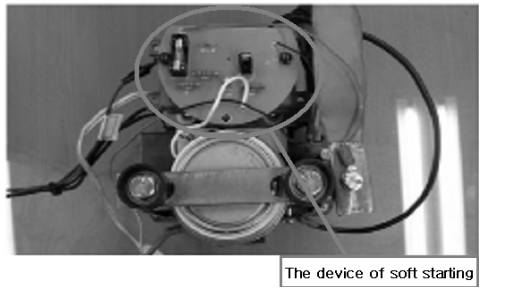
(b)

Figure 4: Starting controller using semiconductor

또한, 사이리스터의 도통시간을 조절함으로써 주접점이 온 된 후 전동기에 전류가 공급되는 시점을 지연시키는 방식으로써 전원공급접점(4a)이 닫히고 일정시간(0.2~0.5초)이 경과한 후 무접점 스위치인 사이리스터를 통해 기동전류가 흐르도록 함으로써 안정되고 부드러운 시동이 가능하게 하였다. **Figure 5**는 소프트 스타팅을 위한 장치이다.

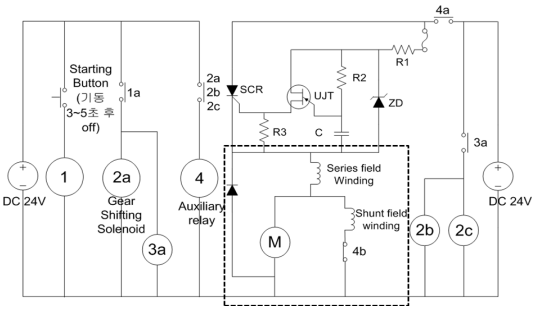


(a)

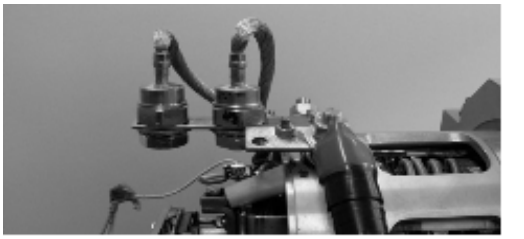


(b)

Figure 5: Control device of soft starting



(a)



(b)

Figure 6: Free-wheeling diode

직권전동기는 인덕턴스가 대단히 작지만 시동말기에도 대전류(약 1500[A])가 흐르므로 전원 차단

시 전원공급접점사이와 정류자편과 브러시사이에 심한 아크가 발생한다. 이로 인해 접점과 정류자편이 소손되어 표면이 거칠어지고 접촉저항이 증가함으로써 보다 심한 손상을 초래하는 악순환이 반복될 수 있다. 이러한 부작용을 감소시키기 위해 **Figure 6**과 같이 고속 휠링 다이오드를 직권계자권선 및 전기자권선과 역병렬로 연결하였다. 휠링 다이오드를 설치함으로써 브러시와 주접점에 발생하는 스파크를 감소시켜 브러시, 정류자편 및 접점단자의 내구성을 증가시켰다.

4. 시동 제어장치 성능분석

4.1 동작 특성 성능분석

전자식 시동 제어장치의 성능분석을 위해 반복 시험운전을 행하였으며 개발제품의 성능 시험 결과 피니언 기어 쉬프팅 제어장치의 동작 특성이 양호함을 확인하였다. 피니언 기어 쉬프팅에 필요한 충분한 자기력이 솔레노이드 코일에 의해 발생됨을 확인하였으며 동작 시험을 통한 성능 평가 결과 동작부의 이동 상태가 양호하였다. **Figure 7**에서 그 상태를 확인할 수 있다.

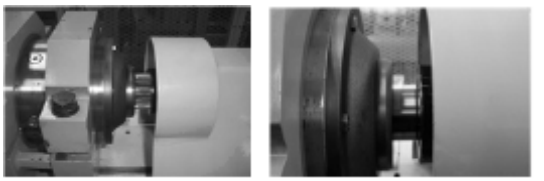


Figure 7: Shifting test of pinion gear

대전류에 의한 릴레이의 아크 손상 방지를 위한 전자식 스위치로는 반도체 소자(사이리스터)를 사용하여 구성하였으며 도통여부 시험 결과에서 신속한 동작 상태와 전기적 손상이 없는 반도체 소자의 성능을 확인하였다. 기계적 접점을 개선한 전기적인 무접점 접촉이므로 기계적 마찰에 의한 손상의 위험성이 감소되었다. 사이리스터 턴 온 시 전압이 6[V] 이상이 인가되며, 게이트 전류량도 턴 온에 필요한 0.5[A] 이상의 전류를 확보 할 수 있었다. **Figure 8**은 기계식 접점에서 발생된 아크 손상을 보여주고 있으며 **Figure 9**는 반도체 소자를 이용하는 시동 제어장치의 스위칭 동작이며 전기적 손상이 발생되지 않음을 알 수 있었다.

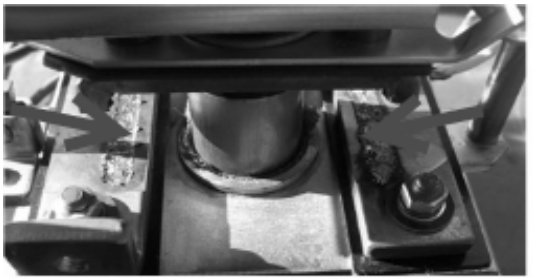


Figure 8: Arc demage of mechanical contactor

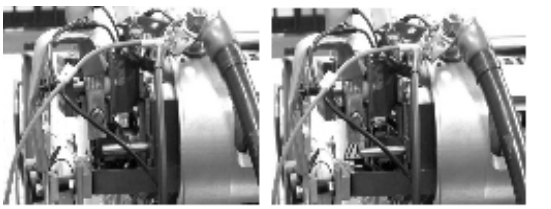


Figure 9: Switching condition of semiconductor switch

소프트 스타팅 장치는 피니언 기어의 완전한 이동 및 접촉이 이루어진 후 전동기의 기동이 이루어지도록 설계, 제작한 것이며 동작시험 결과 확실한 동작 성능을 보여 주었다. 반도체 소자를 이용한 접점의 도통 시 주 전원 인가 전에 게이트 신호의 입력이 가능하도록 함으로써 접점의 손상을 방지할 수 있는 안전장치이다. **Figure 5**의 R1(1kΩ), R2(100Ω), R3(10kΩ), C(220μF), UJT 소자를 통해 사이리스터의 턴 온 시간이 0.2~0.5[sec] 정도 확보됨을 알 수 있었다. 또한, **Figure 10**과 같이 전자식 시동 제어장치를 사용한 전기시동 전동기의 기동 시 기동장치 부위의 온도를 부하별로 분석한 결과 기존의 솔레노이드를 이용한 시동 제어장치에 비해 반도체 소자를 사용한 경우의 온도변화가 낮은 것으로 나타났다. 시험조건은 실내온도를 15℃, 동작시간은 3초, 1회 실시 후 10분 냉각 후 재 기동하였다.

전기시동전동기 기동 시 부하를 150[%] 까지 점차 증가 시키면서 전자식 시동 제어장치 및 전동기에 공급되는 전류를 측정한 결과를 **Figure 11**에 나타내었다. 결과적으로 전자식 시동 제어 장치의 안전성 및 신뢰성을 확인할 수 있었다.

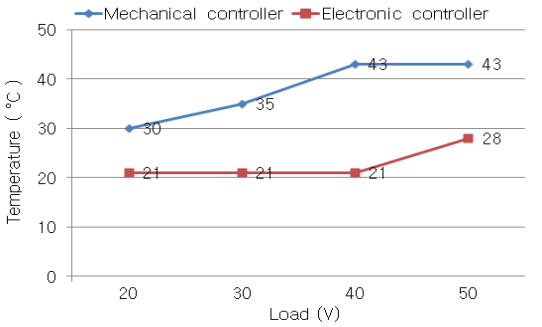


Figure 10: Temperature to load condition

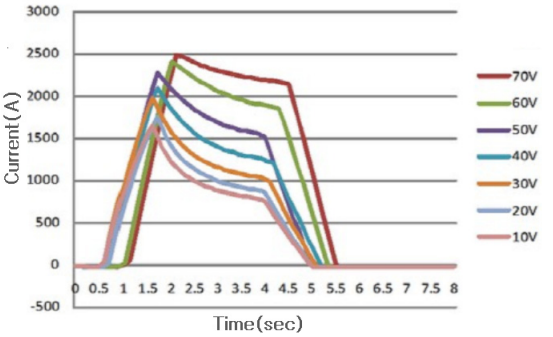


Figure 11: Characteristic curve of current to load condition

4.2 출력특성 성능분석

전자식 시동 제어장치의 기술적 성능분석을 위해 출력특성을 알아보았다. KSR1038 시험 방법에 의거하여 특성 시험을 하였으며 시험조건은 다음과 같다.

- 실내 온도를 23℃를 유지한다.
- 전체 시험 시간은 10초 이하로 한다.
- 사용 전원 : DC 24V(12V 배터리(모델 : RP200-12, 200AH/20HR) 4개)
- 센서에서 계측되는 값을 Labview 프로그램을 이용하여 데이터 값을 저장한다.
- 부하 셀(토크센서), 홀 센서(전류 측정용), 온도 센서, 모든 센서는 교정검사를 받은 것을 사용한다.

Figure 12는 출력 성능시험을 위해 제작된 시스템이다.

Figure 12: Evaluation system of output characteristic

전자식 시동 제어장치를 실제 전동기에 장착하여 성능을 분석 하였으며 비교분석을 위해 기계식 주접점이 장착된 시동 제어장치를 사용한 출력 특성을 측정하였다. **Figure 13**은 기존의 시동 제어장치를 이용한 경우의 출력 특성이다.

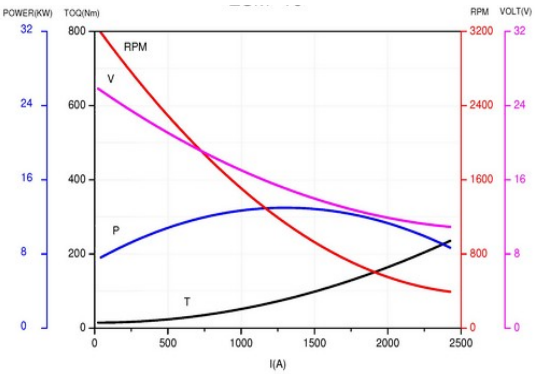


Figure 13: Output curve using mechanical contactor

전자식 시동 제어장치를 사용하는 경우의 출력 특성을 **Figure 14**와 **Figure 15**에 나타내었으며 전기시동전동기를 주로 사용하는 분야가 별도의 1차 전원이 공급되지 않는 곳이므로 기동 전원에 따른 특성 시험이 필요하다고 판단되어 주로 정류기 및 배터리 전원을 이용하여 출력 성능을 분석 하였다. 먼저, 정류기를 사용하여 정전압의 24[V] 전원을 공급하는 경우의 시험 결과를 **Figure 14**에 나타내었다.

Figure 15는 배터리 4개를 사용하여 공급 전원 24[V]에서 시험한 결과이다. 배터리는 모두 완충된 상태에서 시험하였다.

특성 곡선을 상호 비교 분석한 결과, 기존의 시동 제어장치 및 전자식 시동 제어장치를 사용하였

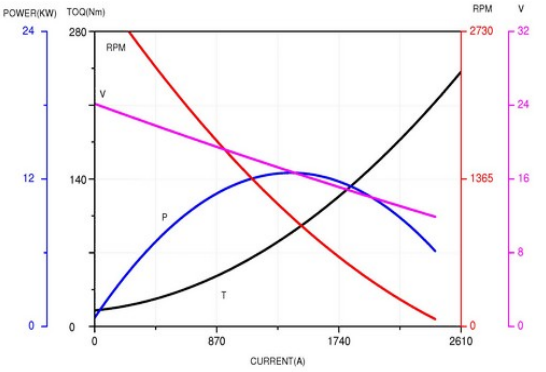


Figure 14: Output curve using 24[V] power supply of electronic contactor

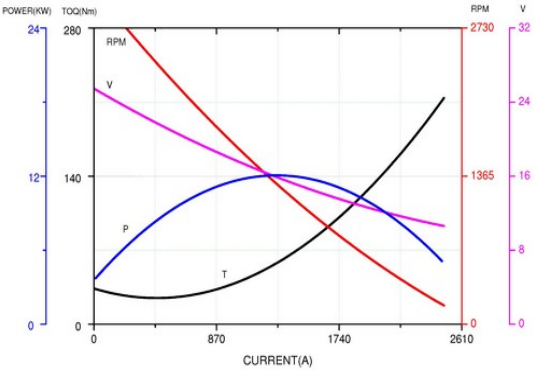


Figure 15: Output curve using 24[V] battery of electronic contactor

을 경우 최대 출력은 각각 12[kW]와 13-14[kW]로 나타났으며 출력 성능에 있어서 전자식 시동 제어장치를 사용하는 경우에 있어서 기존의 시동 제어장치를 사용 시 보다 오히려 약간의 향상된 결과를 얻었음을 보여준다. 정류기를 사용하는 전원에 의한 출력은 **Figure 14**에서 약 14[kW]이며, 배터리를 사용한 출력 성능은 **Figure 15**에서 약 13[kW]를 나타내었는데 이는 배터리 사용 시 전압강하에 의한 것으로 판단된다.

5. 결 론

기존의 기계적 주접점을 갖는 시동 제어장치를 사용하는 경우에는 주접점과 보조접점 개폐 시 스파크가 발생하여 접촉 단자에 손상을 주고 구동장치 근처에 인화 물질이 있을 경우 화재 발생의 위험이 있으므로 주기적으로 릴레이 및 접점의 점검 및 보수가 요구되며, 주접점이 기어 쉬프팅 장치 끝단에 설치되어 있으므로 기동 중 주접점이 과전류에 의해 소손되면 고착되어 기어의 분리 및 전원 공급차단이 지연되거나 불가능한 사고가 유발된다.

본 연구에서 개발한 전자식 시동 제어장치는 무접점 스위칭 소자인 사이리스터에 의해 대전류의 온 오프가 이루어지므로 기계적 손상이 없고 장시간 사용하여도 성능이 저하되지 않으므로 점검 및 보수가 불필요하다. 또한, 전동기축을 플라이휠 기어로 이동시켜 맞물리는 장치와 전동기를 전원에 연결하는 주접점 온 오프 장치를 분리하여 안전성을 확보하였으며 사이리스터(SCR)의 도통 시간을 조절함으로써 주접점이 온 된 후 전동기에 전류가 공급되는 시점을 지연시킬 수 있으므로 안정되고 소프트한 시동이 가능해졌다. 축 이동장치로부터 주접점을 분리함으로써 주접점의 고착에 의해 축이 복귀하지 않는 사고의 가능성을 제거하였고 주접점의 보수, 관리가 용이하고 휠링 다이오드를 설치함으로써 브러시와 주접점에 발생하는 스파크를 감소시켜 브러시, 정류자편 및 접점 단자의 내구성 증가시켰다. 성능 분석 및 평가를 위한 시험을 통해서 안전성과 신뢰성을 입증하였다.

참고문헌

[1] A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr. Sthphen D. Umans, Electric Machinery McGraw-Hill Book Company, 2010.

[2] P. C. Krause, Analysis of Electrical Machinery, McGraw-Hill Book Company, 1987.

[3] Stephen J. Chapman, Electric Machinery and Power System, McGraw-Hill Book Company, 2002.

[4] J. S. Kim, S. H. Kim, S. G. Oh, Y. G. Kim and H. S. Kim, "A development of the starting motor for packaged power systems", Jounal of the Korean Society of Marine Engineering, vol 36, no. 1, pp 172-178, 2012.

[5] B. K. Bose, Power Electronics and AC Drives, Prentice-Hall, 1987.