

技 術 解 說

# 디젤기관차用 主發電機 및 牽引電動機의 개발현황

金 邦 光\*  
具 炯 謨\*\*

|   |  |
|---|--|
| I. 序 言<br>II. 견인전동기(D77型)<br>1. 사양 및 定格<br>2. 構 造<br>3. 設計 및 特徵<br>4. 試 驗 | III. 主發電機(AR10A5/D14)<br>1. 사 양<br>2. 構 造<br>3. 設計 및 特徵<br>4. 試 驗<br>IV. 結 論 |
|---|--|

## I. 序 言

우리나라에 디젤기관차가 到入되기 시작한 것은 1950 年代 初부터이며 점차 그 數量이 增加되어 오다가 1970

年代에는 급격히 增大되어 蒸氣機關車는 사라지고 일 부 中央線의 電氣機關車를 제외하고는 거의 모두 디젤 기관차로 代置 되었다. 한편 디젤기관차의 容量을 살 펴보면 표 1 “기관차 보유량”에서 보는 바와 같이 初

표 1. 디젤기관차 형별 주발전기 및 견인전동기 보유량

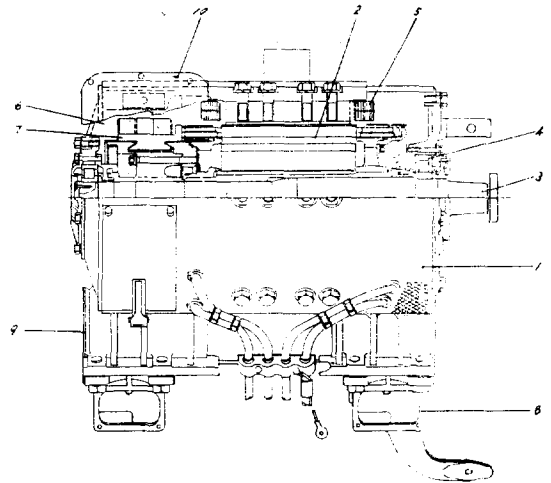
| 區 分<br>기관차 型別 | 기 관 차<br>보 유 량 | 제 작 년 도   | 주 발 전 기 |       |     | 견 인 전 동 기 |                  |      |
|---------------|----------------|-----------|---------|-------|-----|-----------|------------------|------|
|               |                |           | 형 식     | 용 량   | 수 량 | 형 식       | 정격전류<br>(600V 때) | 수 량  |
| 2000 (SWB)    | 13             | 1951      | D15C    | 560KW | 13  | D27       | 900A             | 52   |
| 3000 (G8)     | 51             | 1958~1959 | D15E    | 610 " | 51  | D47       | 925A             | 204  |
| 3100 (DL532)  | 6              | 1966~1967 | 5G T    | 670 " | 6   | GE761     | 625A             | 24   |
| 4000 (G12)    | 15             | 1963      | D22F    | 920 " | 15  | D57       | 925A             | 60   |
| 4100 (G12)    | 10             | 1966      | D32F    | "     | 10  | D77       | 1075A            | 40   |
| 4200 (G22)    | 22             | 1967      | D32T    | "     | 22  | D75       | "                | 88   |
| 5000 (SD9)    | 29             | 1957      | D12C    | 1240A | 29  | D37       | 925A             | 174  |
| 6000 (SD8)    | 14             | 1963      | D22C    | 1280A | 14  | D57       | "                | 84   |
| 6100 (SDP28)  | 6              | 1966      | D32B    | "     | 6   | D77       | 1000A            | 36   |
| 6200 (SDP38)  | 17             | 1967      | D32     | "     | 17  | D75       | 1075A            | 102  |
| 6300 (SDP38)  | 23             | 1967      | "       | "     | 23  | D75       | "                | 138  |
| 2100 (SW1001) | 28             | 1967      | D25     | 710A  | 28  | "         | "                | 112  |
| 7000 (G26)    | 10             | 1969      | D32     | 1420A | 10  | "         | "                | 60   |
| 3200 (개조차)    | 42             | 1975~1977 | D15E    | 610A  | 42  | GE761     | 625A             | 168  |
| 7100 (GT26CW) | 43             | 1975      | AR10E   | 2130A | 43  | D77       | 1075A            | 258  |
| 7500 ( " )    | 96             | 1971~1975 | "       | "     | 96  | "         | "                | 576  |
| 計             | 425            |           |         |       | 425 |           |                  | 2176 |

\* 正會員 : 現代重電機(株) 回轉機工場長  
 \*\* 正會員 : " 回轉機設計課長

期에는 600KW정도의 小容量 기관차가 운행되다가 차츰 交通量의 증대로 인하여 現在에는 2,000KW가 넘는 大容量의 기관차만 增量되고 있다.

이와 같은 鐵道運行의 主宗을 이루는 디젤기관차의 國産化 計劃에 참여코자 現代重電機(株)는 1970년대부터 도입되어 온 大容量 디젤기관차(GT26CW型)에 소요되는 主發電機(AR10A5)와 牽引電動機(D77)를 國産化 개발하였다.

이를 토대로 최근 정부에서 확정 발표한 서울시 地下鐵 2,3,4,5,6號線(1985年~1986年 完工), 부산 地下鐵 1,2號線(1985年~1986年 完工) 및 서울-대전間 高速 電鐵(1988年以前 完工) 등에 소요될 막대한 物量의 견인전동기를 비롯한 各種 電裝品의 國産化가 可能하게 되었으며 따라서 收入대체에 따른 外貨 節約에 크게 이바지할 것으로 기대된다. 또한 東南亞等 開發道 上國家에서는 아직 鐵道 施設이 미흡하여 차츰 그 수요가 확대되어 가고 있으며, 우리나라에서 1960年代에 도입했던 1,000~1,500KW정도의 비교적 小容量의 디젤기관차를 要求하고 있어 當社는 이에 맞는 電裝品도 개발 수출할 예정이다.



- 1. Frame
- 2. Armature
- 3. Shaft
- 4. Bearing
- 5. Field coil
- 6. Brush
- 7. Commutator
- 8. Axle cap
- 9. Axle bore
- 10. Air hole

그림 1. D77 견인전동기

## II. 견인전동기(D77型)

### 1. 사양 및 定格

|           | 한시 간격격 | 최대 회전력<br>시의 연속정 | 최대 출력시<br>의 연속정격 |
|-----------|--------|------------------|------------------|
| 전류(A) D.C | 1,065  | 1,050            | 860              |
| 전압(V) D.C | 302    | 340              | 621              |
| 출력(KW)    | 321    | 357              | 534              |
| 회전수(rpm)  | 339    | 388              | 797              |
| 효율(%)     | 84.8   | 86.3             | 91.4             |

최고전압: DC1,300V

극수: 4극

최대회전수: 2,260rpm

절연계급: 'H'種

### 2. 構造

D77型的 견인전동기는 shaft에 끼어지는 pinion을 통해 회전력을 차륜에 전달하는 직류직렬 전동기이다. 보극(commutating pole)을 가지며 보극 권선은 전기자와 직렬로 연결되어 정류요일의 리액턴스전압을 상쇄시킨다. 전기자권선과 보극권선의 결선은 기관차 조정장치에서 직렬로 결선되므로 기동토크가 높아 기관차운전에 알맞는 직렬특성을 가지며, 역회전을 위해 조정장치에서는 제자전류의 진행방향을 바꾸도록 되어있다.

Frame의 장착은 그림에서 보는 axle bore를 통해 차축을 삽입하고, 반대편에는 上, 下로 두개의 턱을

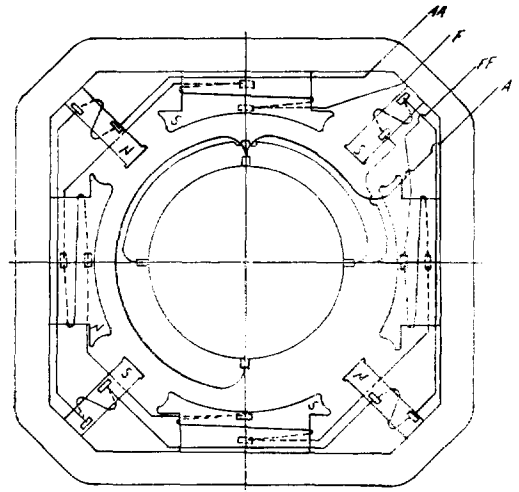


그림 2. Wiring diagram

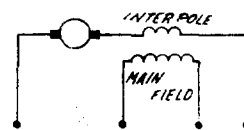


그림 3. Electrical schematic

만들어 대차의 spring을 이용, 지지되는 rubber nose suspension type으로 기관차의 진동에 의한 충격을 완화시킨다. 냉각방식은 정류자(commutator) 위의 통풍구(air hole)를 통해 강제통풍하도록 되어 있다.

3. 設計 및 特徵

1) 固定子

와류손(eddy current loss)을 줄이기 위해 主極(main pole)은 구조강판으로 積層되었고, 磁氣回路를 형성하는 frame도 주물인 경우 0.3~0.5%의 규소를 함유하여 열처리하도록 되어 있다. 제자권선(main field winding)과 보극권선의 주된 절연물은 유리섬유에 규소고무를 도포한 'H'種 "Glass and Silicone Rubber"를 사용하여 열전도성이 우수하고 내습성이 양호하도록 하였다.

2) 電機子

가. Core 및 shaft: 구조강판을 원통모양의 quill에 적층하여 누른 상태에서 nut를 채운다음, 크롬몰리브덴강(SCM4H)의 열처리된 shaft를 core가 적층된 quill 속에 60~90ton의 압력으로 삽입하므로써 shaft가 휘거나 부러지는 경우가 거의 없도록 하였다.

나. 전기자코일: 각 도체(conductor)는 2병열 split 방식으로써 와류손에 의한 온도상승을 줄이고 절연물 수명을 연장시키도록 하였다. 전기자권선의 주된 절연물은 미국 Dupont사가 개발한 'H'種 Kapton(polyimide) film으로써 25,000 LBS/square inch의 인장강도와 mica보다 10배나 되는 절연과피전압(7,000V/mil)을 가지며 내열성, 耐化學성이 극히 우수하다. 이 얇은 Kapton film으로 절연하면 도체단면적을 상대적으로 크게 할 수 있어 용량을 증가시키고 또한 보다 낮

은 온도에서 운전함으로써 절연물의 수명이 길어지게 되는 것이다.

다. 整流子; 전기자 철심과의 조립과정에서 정류현상을 고려하여 micro scope를 사용 정류자 홈과 전기자 홈의 상호중 심선을 정밀히 맞추도록 되어있다. (그림 참조) 전기자코일과 정류자의 riser-용접은 TIG (Tungsten Inert Gas) welding을 함으로써 과거 soldering때보다 용융점이 훨씬 높고 순간과부하時에도 잘 견딜뿐 아니라 보다 견고하고 저저항으로 용접되었다.

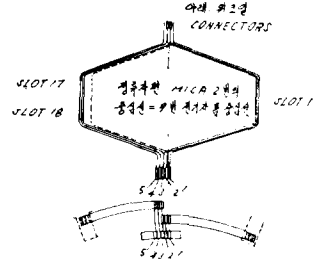


그림 5. 전기자 전선 diagram

3) Brush holder 및 Brush

하나의 brush holder는 3개의 brush를 가지며 브러쉬의 마모에 의한 교체기간을 길게 하기 위하여 보다 긴 브러쉬를 사용하고 압력을 일정히 유지하도록 균압 spring cell을 이용한 brush holder를 설치하였다. 또한 frame에 고정시키기 위한 brush stud는 polyester를 molding하여 삽입위험을 제거하였다. 정류자면과 접촉을 양호하게 하기 위하여 브러쉬는 3가닥으로 갈라져 있으며 뒷면에는 고무 pad를 사용, 진동을 완화시킨다.

4. 시 험

이상과 같이 제작하여 當社는 다음과 같은 項目의 시험을 실시하였다.

1) Commercial Test

가. 권선저항측정: 각 부분의 권선저항을 측정하여 75°C값으로 환산한 값은 다음 값 범위에 들어야 한다.

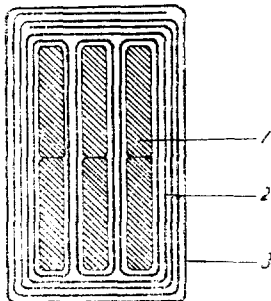
전기자: 0.01232 ±2% 이내

주계자: 0.00876 ±2% 이내

보극권선: 0.00652 ±2% 이내

나. 베어링온도상승 시험: 1,500rpm으로 회전시키며 15분 간격으로 2시간 측정하여 온도상승치가 정류자측은 25°C, Pinion측(부하측)은 35°C이내에 들어야 한다.

다. 속도특성시험: DC500V 700A full field를 加



- 1. Polyimide coated copper wire
- 2. Kapton film
- 3. Fiber glass tape (varnish treated)

그림 4. 전기자코일

하여 회전수가 658~718rpm이내여야 한다.

라. 정류특성시험 : 정·역방향으로 534KW 800~900 A에서 정류자면에서의 불꽃 유무를 조사한다.

다. 절연내력시험 : 온도상승시험을 마친 후 전동기가 냉각되기전에 3200V60초간 가하여 이상이 없어야 한다.

바. 과속도시험 : 2925rpm에서 5분간 회전하여 이상이 없어야 한다.

2) Engineering Test

가. Heat Run Test : 강제통풍 2,800cfm(cubic feet per minute) 상태에서 357KW 1,050A full field로 4時間 운전후 온도상승치가 다음 값 이내여야 한다.

|              | 주계자 | 보 극 | 전기자 | 정류자 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|
| 온도상승허용치 (°C) | 165 | 145 | 148 | 110 |

나. 무부하포화특성시험 : 무부하에서 900rpm으로 고정시키고 전류를 200A부터 200A씩 첨가하여 1,200A 될때까지의 Curve를 비교한다.

다. 속도특성 : 전압 DC500V로 고정하고 부하전류에 따른 속도를 설계치와 비교한다.

라. 정류특성 : heat run test와 동일조건에서 정류 시험하며, 100%와 68% shunt field에서 정·역회전 시 불꽃정도를 비교한다.

3) 반환부하법 시험결선도(loading back method kapp) 이상의 온도상승시험 정류시험 및 속도특성을 위하여 當社는 다음과 같은 방법으로 시험하였다. 전 인전동기 2대를 coupling하여 하나는 전동기로, 하나는 발전기로 동작시켜 이에 생긴 내부 손실만큼 전원에서 전압조정기를 통해 입력시켜 주었다.

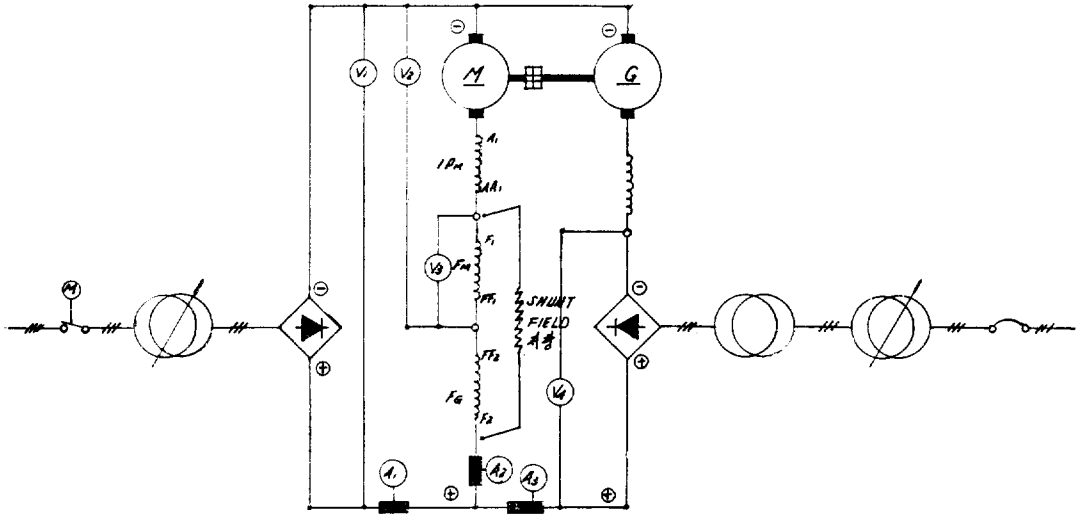


그림 6. 반환부하법 결선도

Ⅲ. 主發電機(AR10A5/D14)

1. 사 양

1) AR10A5 Generator

- 가. 용량 : 3000마력(최대 : 3600마력)
- 나. 정격전류 : DC-4200A
- 다. 정격전압 : DC-600V(최대 : 1300V)
- 라. 극수 : 10극
- 마. 주파수 : 75Hz
- 바. 절연계급 : 고정자—H, 회전자—F
- 사. 회전수 : 900rpm

2) D14 Alternator

- 가. 용량 : 100KVA
- 나. 정격전압 : AC-215V
- 다. 극수 : 16극
- 라. 주파수 : 120Hz
- 마. 절연계급고정자—H, 회전자—F
- 바. 회전수 : 900rpm

2. 構 造

- 1) AR10 Rotor
- 2) Coupling Disc
- 3) D14 Rotor Coil

- 4) D14 Stator
- 5) D14 Frame
- 6) AR10 Rotor
- 7) AR10 Stator Core
- 8) AR10 Stator Coil
- 9) Rectifier Bank
- 10) Bearing
- 11) Brush Holder and Brush
- 12) Shaft
- 13) Slip Ring
- 14) AR10 Frame

같이 기관차 control box의 정류회로를 거쳐오는 D14 전원을 slip ring을 통하여 제자전류로 받아發電한 후 rectifier(위 그림 주발전기 Item 9)를 통하여 전인 전동기에 DC 電力을 공급하므로써 기관차의 전인에 이용된다. 이 主發電機에는 자동조심 roller bearing이 1個 사용되고 있으며, engine과 연결되는 쪽에는 bearing을 사용하지 않고 단지 disc로 直結되도록 되어 있어 coupling으로 인한 진동이 극히 적다. 발전기의 냉각방식은 별도의 blower로 rectifier bank 위쪽에 있는 air duct를 통하여 約 5,300cfm으로 냉각시켜 주도록 되어있다.

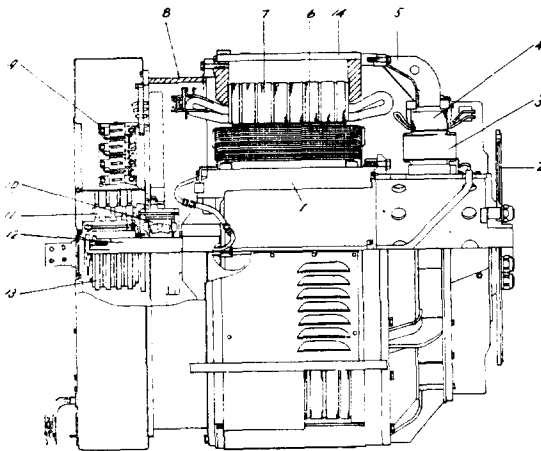


그림 7. 주발전기 (AR10A5/D14)

디젤기관차의 主發電機는 위 그림에서 보는 바와 같이 AR10 generator와 D14 alternator가 함께 조립되어 있어 사실상 2個의 발전기가 함께 조립되어 있다.

D14 alternator는 외부로부터 제자전원을 받아發電한 전력을 AR10 generator의 제자전원으로 일부 공급하고 나머지는 기관차의 다른 전원으로 공급된다.

또한 AR10 generator는 아래 그림에서 보는 바와

### 3. 設計 및 特徵

이 AC/DC type 主發電機는 commutator 및 brush 대신에 rectifier를 사용하므로써 容量면에서 종래의 발전기에 비해 부피 및 무게를 훨씬 감소하였으며, 보수가 간편하고 장기적인 수명을 가져올 수 있도록 하였다.

#### 1) AR10 Frame 및 Stator Core

철도차량용으로 적합하도록 core를 적층하여 90ton으로 압력을 가한 상태에서 frame과 함께 용접하므로써 기계적 진동과 어떠한 기온의 변동에도 안정하도록 하였다.

#### 2) AR10 Stator Coil

온도상승 감소 및 generator 容量증가를 위해 도전율이 최소 100% 이상이 되는 copper wire를 선택했으며, 절연물로는 polyimid로 coating한후 glass and silicone rubber tape로 최종 절연하므로써 "H"種 절연을 하였다.

#### 3) Rotor Coil

환동선에 double glass가피복된 ASTM B3-74에 준하는 magnet wire를 사용하여 pole piece에 감아 열전도 및 기계적 성능이 좋도록 하였다.

#### 4) Rectifier Bank

2조의 rectifier ass'y는 각각 30개씩의 고압 대전류 silicone diode로 구성되어 있으며 각 diode는 heat sink에 설치되어 있을 뿐 아니라 강제통풍에 의하여 냉각되므로 온도상승의 위험이 없도록 하였다.

또한 2個의 diode bank에 부착된 각 전류제한 fuse 및 "delta connected suppression circuit"에 의한 Diode 보호장치가 되어있으며 그림은 다음과 같다.

### 4. 試 驗

- 1) 권선저항 측정
- 2) 절연내력 : 고정자 Coil: AC3700V/1분  
회전자 Coil: AC1500V/1분

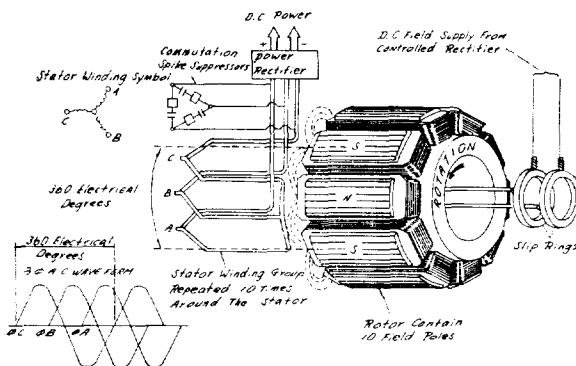


그림 8. Main generator pictorial diagram

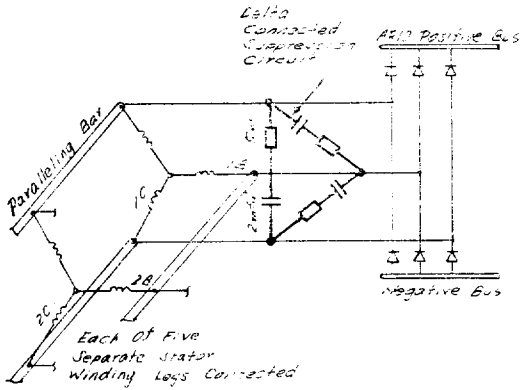


그림 9. Delta connected suppression circuit-simplified diagram

- 3) 베어링 온도상승 : 900rpm으로 1시간 동안 회전시켜 온도상승이 25°C이하 이어야 한다.
- 4) 무부하시험(open-circuit test) 및 단락시험(short-circuit test):
- 5) 절연저항시험 : Stator Coil: 2M-Ω/60초  
Rotor Coil: 15M-Ω/60초
- 6) 부하시험 : 4200A로 단락시키고 900rpm으로 회전하는 상태에서 1시간 이상 회전시켜 이상이

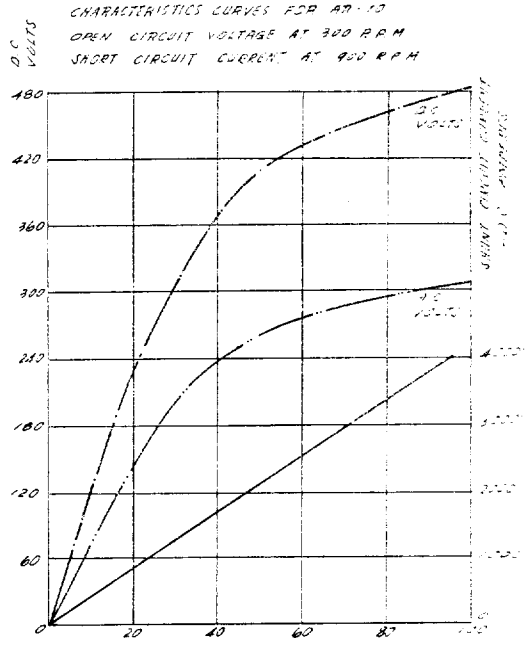


그림 10. Field current-amperes

없어야 한다.

- 7) 主發電機 test circuit diagram: HEECO에서 실시되고 있는 test는 HEECO 자체에서 제작

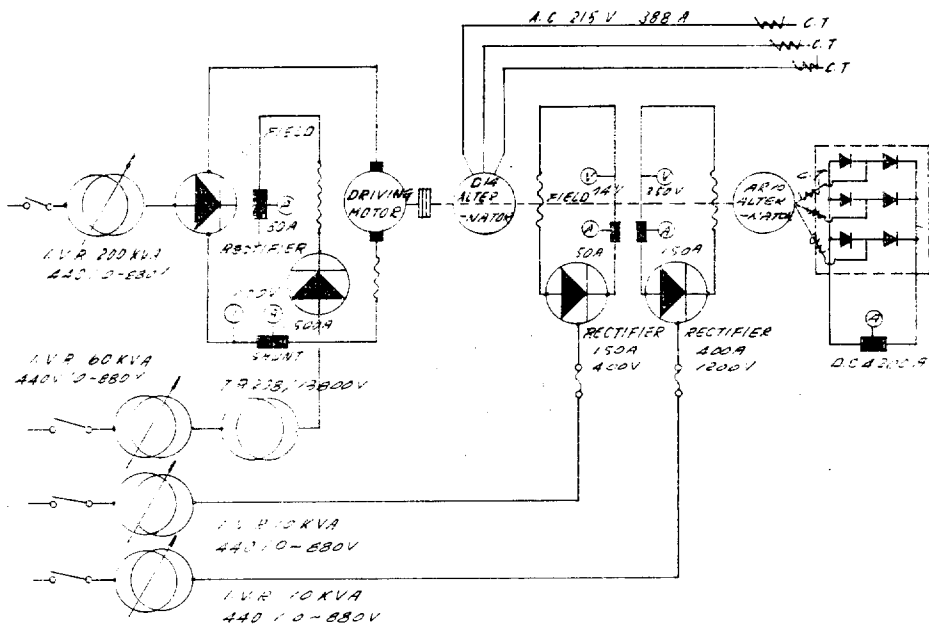


그림 11. Loco gen. test circuit diagram

및 설치된 test 설비에 의하여 행해지고 있으며 driving motor로서는 직권전동기를 조작하여 정속도 특성의 분권전동기와 동등한 특성을 나타낼 수 있도록 설치되어 있다.

test diagram을 나타낸 그림은 앞과 같다.

#### IV. 結 論

앞에서 잠시 살펴본 바와 같이 向後 約 6~8년간 우리나라에는 전기기관차 및 전동차등 상당수의 철도차량이 新設될 것이며, 이에 투자되는 비용은 막대하며 특히 外資가 큰 비중을 차지할 것이다.

그러므로 이미 시험개발이 끝난 전인전동기등 國產化 가능 품목에 對하여는 政府가 많은 관심을 기울여 國內 部品業體에서 참여할 수 있도록 힘써야겠다.

한편 전인전동기 및 主發電機의 國산화 개발中에 많았던 어려움은 절연물 조달이라 하겠다.

F~H種 절연물의 國內 生産이 거의 없어 國산화율이 높지 못하며, 수출의 경우 납기를 거의 맞출 수 없어 가격과 더불어 경쟁력이 매우 약한 실정이다.

앞으로 늘어나는 電裝品 수요와 균형있는 공업발전을 위해 양질의 절연물 및 部品을 시급히 國內에서 조달될 수 있어야 하겠다.