

허성광, 류홍우, 한경희  
한국 전력 공사, 기술 연구원

RESEARCH STUDY ON THE COMPARISON OF TORQUE CONVERTER AND STATIC CONVERTER FOR GAS TURBINE POWER PLANT.

SUNG-KWANG HUR, HONG-WOO RHEW, KYUNG-HIE HAN  
KEPCO RESEARCH CENTER

ABSTRATION

LARGE SYNCHRONOUS GENERATORS USED IN CONNECTION WITH COMPRESSOR, TURBINE, IN MOST CASE, NEED THE HELP OF AN ELECTRICAL DRIVES FOR STARTING IN GAS TURBINES. NOWDAYS, THE STATIC FREQUENCY CONVERTER STARTING SYSTEM IS EMPLOYED IN POWER PLANT. THIS PAPER DESCRIBES TORQUE CONVERTER, STATIC FREQUENCY CONVERTER AND COMPARISON OF TWO SYSTEMS.

- 유체 커플링: 기동보조, 충격흡수, 과부하 방지  
송풍기 및 펌프 구동 (가변속으로 에너지 절감 및 기기 보호)
- 토오크 컨버터: 터빈 기동장치 (초기 기동시 토오크의 조정 및 변속)  
차량 변속기 (초기 견인력 증폭)
- 유체 브레이크: 차량 브레이크  
엔진 부하시험기

1. 서론

최근 우리나라의 전력난을 해소하고 주변 지역에 열공급을 위하여 분당, 안양, 부천 및 일산 등 신도시에 복합 화력이 준공되고 있으며, 일부는 건설중에 있다. 복합화력의 가스 터빈 기동시, 정지상태의 압축기, 가스터빈을 기동 및 가동시켜 설정된 속도까지 운전하기 위하여 유체 토오크 컨버터 (TC, TORQUE CONVERTER) 또는 전기식 가변속장치 (SFC, STATIC FREQUENCY CONVERTER) 를 사용하고 있다. 기계식 가변속장치는 유체의 운동 에너지를 이용하여 동력을 전달하며, CHAMBER 내부의 오일량을 변화시켜 피구동 기계에 전달되는 토오크를 변화하여 속도를 변경한다. 이는 1905년 독일의 전기 엔지니어인 헤르만 뢰팅거 박사에 의하여 발명되어 기동 보조, 가변속으로 에너지절감 및 기기 보호용인 유체 커플링, 초기 기동시 토오크 조정용인 토오크 컨버터로 분류하여 산업계에 널리 활용되고 있다.

전기식 가변속장치인 SFC 는 가스터빈 발전기의 회전자에 직류전원을 공급하고, 고정자에는 가변 주파수를 가진 교류전원을 공급하여 발전기를 전동기화 하여 같은 축에 연결된 가스터빈을 기동시키는 장치이다. 이 논문에서는 위 기계식 가변속장치와 전기식 가변속장치의 원리 및 장, 단점을 비교 제시하고자 한다.

2. 유체 토오크 컨버터

2.1 유체 전달 기기

유체는 오래전부터 물레방아와 같이 에너지를 전달하거나 변형하는데 이용되었다. 유체 및 유체전달 기기는 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

- 모든 공간에서의 신속한 채움 (FILLING)
- 유동성
- 모든 방향으로의 압력 전달
- 에너지 밀도가 높기 때문에 소형화가 가능
- 기계적 충격과 진동이 흡수된다.
- 부드러운 동력전달이 가능하다.

이와 같은 유체의 운동을 이용하는 동력 전달 기기로서 산업 기기에 널리 사용되고 있다.

2.2 토오크 컨버터

토오크 컨버터는 유체를 원동소의 동력을 기계적인 접촉 없이 가속하면서 원활하게 가변속 구동하도록 하는 장치이며 구성요소는 다음과 같다.

- 원동소 (모터 또는 엔진) 에서 동력을 전달받아 유체에 동력을 전달하는 1 차 ELEMENT.
- 유체의 동력을 받아 이를 회전력으로 변환시키는 2 차 ELEMENT.
- 2 차 ELEMENT 출구 유체의 방향을 바꾸어 주어 2 차 SHAFT 의 속도를 변경 시켜주는 GUIDE VANE.
- 유체의 공급 또는 차단을 담당하는 OIL VALVE.
- OIL VALVE 와 GUIDE VANE 을 조작해 주는 ACTUATOR로 구성.

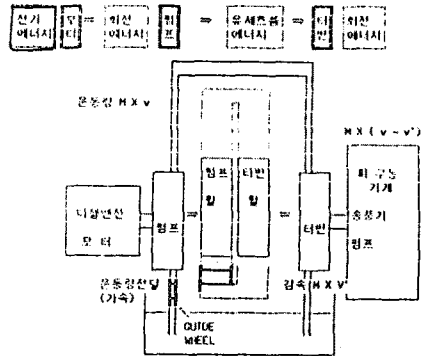


그림 1. 간략화한 토오크 컨버터의 원리도.

가스터빈에는 기동전동기가 설치되어있어, ROTOR 정지 상태에서 기동하기 위하여는 기동전동기를 기동하여 토오크 컨버터를 통해 토오크를 조절하여 가스터빈을 기동하며, 그 동작원리는 다음과 같다.

1차 ELEMENT는 원심 펌프의 형태로서 원동소의 회전력을 유체에 전달하여 속도를 빠르게 하고 압력을 올린다. 속도가 빨라지고 압력이 상승된 유체는 터빈형태의 2차 ELEMENT에서 동력으로 전달하여 2차 SHAFT에 전달한다. 2차 ELEMENT를 통과한 유체는 아직도 속도와 압력이 남아있으므로 이를 GUIDE VANE에서 방향을 조절하여 다시 1차 ELEMENT의 흡입측에 보내주며 이때 유체흐름의 방향에 따라 1차 ELEMENT 출구 유체의 압력과 속도가 달라져 결과적으로 2차 ELEMENT에 전달되는 동력이 달라지므로 2차 SHAFT의 속도가 변화하게 된다. 또한 토오크 컨버터 내부의 유체는 계속 순환할 경우 순환중의 마찰에 의한 열 발생을 방지하기 위하여 일정한 량을 계속해서 냉각 계통으로 보내야하며 냉각 계통 순환량 만큼 계속 보충해 주어야 한다. 토오크 컨버터의 특징은 1차 SHAFT보다 큰 토오크를 2차 SHAFT에 전달할 수 있고 2차 SHAFT의 속도가 작을수록 전달 토오크가

커지는 특성이 있으며 최대 토오크 증폭 범위는 1차 SHAFT 토오크의 10 배 까지이다. 또한 가스터빈의 기동장치로 적용할 때 가스터빈의 자립속도 이상일 때에는 토오크 컨버터 내부의 유체를 DRAIN OUT 시키면 동력전달 매체가 없으므로 2차 SHAFT의 속도가 1차속으로 전달되지 않게된다.

### 2.3 기계식 복합 가변속장치 (VORECON, MULTISTAGE V. S DRIVER)

기계식 복합 가변속장치는 유체 동력 기기로서 기존의 유체 커플링의 단점인 저속에서의 낮은 효율을 보완하여 유체 커플링의 장점과 저속 제어의 높은 효율을 보장하기 위하여 개발된 에너지 절약형 기계식 가변속장치이며 그 구성요소는 다음과 같다.

- 일차 ELEMENT: 전동기 축에 연결
- 이차 ELEMENT: 전달 축에 연결
- SCOOP TUBE: 가변속 유체 커플링의 OIL량 조정
- 작동 기어 및 기타 부속장치

속도조절은 두가지 방식으로 나누어진다.

- 저속방식: 낮은 속도 (20 - 80 %)에서의 저속 가변속 운전시에는 유체 커플링과 유성기어가 가변속 운전에 주된 기능을 한다. 이때는 속도조절은 유체 커플링의 OIL량에 의하여 조절된다.

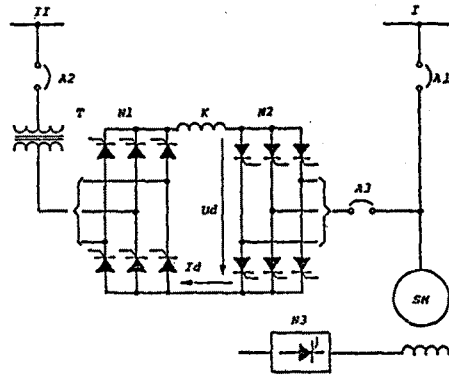
- 고속방식: 높은 속도 (80 - 100 %)에서의 가변속 이 속도 범위에서는 유성기어와 토오크 컨버터가 주된 기능을 하며, 전동기 동력의 대부분은 집결 작동 유성기어를 통하여 전달되고, 일부 동력은 입력 축에 연결되어 터빈 WHEEL을 거쳐 고정된 유성기어를 통하여 2차축에 전달됩니다. 이 때 작동 유성기어는 부가적 기능을 하며, 토오크 컨버터에서 조절된 토오크는 피 구동축이 토오크 차이에 따라 작동비율을 정하여, 2차속 속도를 결정하게 된다. 클러치는 유체 커플링의 1차 축과 2차 축을 고정하게 되며 이 때 1차 축과 2차 축의 속도 차이가 작기 때문에 클러치의 마모는 거의 발생하지 않습니다.

### 3. 정지형 주파수 변환기 (SFC: STATIC FREQUENCY CONVERTER)

#### 3.1 정지형 주파수 변환기 원리

기동 시스템의 일반적인 목적은 회전체를 초기 가속하기 위한 이터 가스터빈 발전기에서는 정격 속도의 대략 60%까지는 기동 시스템에 의하여 기동, 운전되어야 한다. 그 이유는 가스터빈의 압축기가 회전, 대기중의 공기를 압축하여 연소용 공기로써 적정 압력을 갖을 때 연소기에서 연료와 함께 연소되어 생성된 고온 가스는 터빈에서 팽창되어 회전토크가 발생되기 때문이다. 재래식 가스 터빈에서는 가스 터빈 주축에 교류 유도전동기를 설치 사용한다. SFC의 기본 원리는 다음과 같다.

두 개의 전력 변환기 N1, N2는 3상 싸이리스터 브리지 회로로 구성된다. 계통측에 연결된 컨버터 N1은 계통 전압을 정류하여 N1과 N2 사이에 설치된 리액터 L에 의하여 평활 작용과 전류 증가율을 제한한다. SFC가 운전시에는 N2는 RECTIFIER 방식으로 작동되고 N1의 제어회로에 의하여 전류가 조정되고, 조정된 전류 I는 직류 버퍼 회로에 공급되며, N2는 INVERTER 방식으로 작동된다.



Basic circuit for starting system

- I = Main supply system
- II = Auxiliary supply system
- A1, A2, A3 = Circuit breakers
- T = Transformer
- N1 = Rectifier
- N2 = Inverter
- N3 = Converter for excitation
- X = Reactor

그림2. 정지형 주파수 변환기 구성도

#### 3.2 동기 전동기의 평균 토오크

자속과 전류의 고조파 성분의 손실과 영향을 무시한다면 동기 전동기의 평균 토오크는 다음과 같이 표시된다.

$$M_d = K \times I_d \times \frac{U}{\omega} \times \cos \phi$$

$M_d$  = Average torque

$K$  = Constant

$I_d$  = Average current in D.C. buffer circuit

$U$  = Voltage at terminals of synchronous motor

$\omega$  = Angular velocity of synchronous motor

$\phi$  = Phase difference between current and voltage in synchronous motor.

즉, 평균 토오크는 버퍼 회로에 공급되는  $I_d$ , 발전기 자속 ( $\phi$ )과 ( $\cos \phi$ )에 관계된다.

기동시 낮은 속도 범위 (PULSE MODE OPERATION)에서는 역률 ( $\cos \phi$ )은 1로, 자속은 정격 자속으로 선택되며, 단지 공급 계통 컨버터 N1의 제어 루트에 의해  $I_d$ 를 조정한다. 전류를 공급하기 위해 기존 전류는 속도 조정기와 제한기에 의해 제어되며, 이러한 제한 요소들은 N1의 부하능력에 일치하여야 한다. 즉 컨버터 N1은  $I_d$ 를 조정하며, 인버터 N2는 역률을 제어하며, 동기 전동기의 계자자속은 계자 전류에 의하여 조정된다.

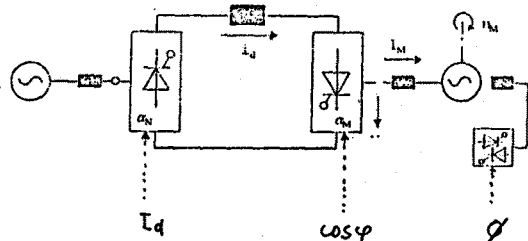


그림 3. SFC의 제어 시스템

### 3.3 SFC 의 1 : 2 운전 방식

발전소에 여러대의 가스 터빈을 설치할 경우, SFC 의 시스템 설계시 경제적인 측면을 고려하여 1대당 SFC를 1대씩 설치하지 않고, 비용이싼 SWITCH OVER DEVICE (SOP)를 연결하여 1대의 SFC로 여러 대의 가스 터빈을 기동하는 방법을 사용하고 있다. 안양 열병합 발전소의 SFC 시스템은 그림 4. 와 같이 구성된다.

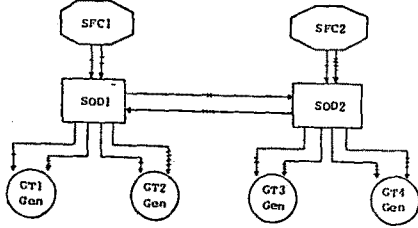


그림 4 SFC 의 1 : 2 운전 방식

### 참고자료

1. BEAT MULLER, STATIC VARIABLE FREQUENCY STARTING AND DRIVE SYSTEM FOR LARGE SYNCHRONOUS MOTORS (1979)
2. DR. GERD FECHNER, NEW HIGH EFFICIENCY HYDRODYNAMIC DRIVE CONCEPT FOR UTILIZATION IN LIFE EXTENSION AND PLANT IMPROVEMENT PROGRAMS- MSVD
3. VOITH TURBO CO, IMPROVEMENT OF PLANT EFFICIENCY OF DRIVE SYSTEMS USING VARIABLE SPEED DRIVES
4. ROSSHILL CONTROL 사 TECHNICAL MANUAL
5. 서인철, 안양, 분당 복합화력 MANUAL

## 4. 유체 토오크 컨버터와 정지형 주파수 변환기의 비교

### 4.1 유체 토오크 컨버터의 특징

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 동력 전달의 안전성이 좋다</li> <li>- 동력 전달의 충격 및 진동을 완화</li> <li>- 과부하 완충 및 방지</li> <li>- 기동 보조 (전동기 기동 부하 감소 기능)</li> <li>- 속도 조작 용이 (미숙련 작업자 조작 가능)</li> <li>- 내구성이 우수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전동기와 피 구동 기계 사이의 설치 공간이 필요</li> <li>- 동력 손실이 전기식 속도 제어 장치 보다 크다.</li> <li>- 유체 커플링에서 발생하는 손실 (열)을 냉각하기 위한 냉각수가 필요하다.</li> </ul>

### 4.2 정지형 주파수 변환기의 특징

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기동 전동기가 불필요하다.</li> <li>- 한 대로써 여러 대의 동기 전동기 제어가 가능하다.</li> <li>- 효율이 우수</li> <li>- 속도 제어범위가 크다.</li> <li>- 전동기 및 피 구동 기계 사이의 설치 공간이 필요 없다.</li> <li>- 정밀한 속도 제어가 가능하다.</li> <li>- 소형 동력 전달의 경우 설치, 보수 유지가 간단하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 속도 조절시 진동이 발생</li> <li>- 전기적 HARMONICS 발생</li> <li>- 시스템이 복잡</li> <li>- 유지 보수비가 많이 든다.</li> <li>- 냉, 난방, 항습 설비가 필요하다.</li> <li>- 예비품이 많이 필요하다.</li> <li>- 신뢰성, 내구성이 기계식에 비하여 낮다.</li> </ul>

## 5. 결론

지금까지 복합화력에서의 유체 토오크 컨버터와 정지형 주파수 변환기에 대하여 기술하였다. 유체 토오크 컨버터를 포함한 기계식 가변속장치와 정지형 주파수 변환기를 포함한 전기식 가변속장치가 중,대용량의 팬, 펌프, 블로어 등 풍수력 기계에서 전반적으로 경쟁관계에 있으며, 이에 따라 기술 발전이 촉진되고 있다.

사용자의 선택은 적용 대상기기, 에너지 절약량, 초기 투자비, 신뢰도, 운전 유지의 간편성 등을 검토하여 결정함이 바람직하다.