

## 過給의 最近動向

The recent tendency of supercharge

조     진     호\*  
Jin    Ho    Cho

오늘날의 機關은 高出力 뿐 아니라 1) 低速으로부터 고속까지의 전영역에 걸쳐 flat하고도 높은 torque를 확보하고 또한 過渡特性이 우수한 機關인 동시에 2) 騒音의 低減을 도모하고, 보다 低燃費와 보수, 유지가 간편할 것등을 목표로 하고 있다.

### 1. supercharger

#### 1.1 supercharger와 turbocharger

supercharger란 원래 過給機關 뜻이고 이 過給機에는 機械驅動式과 排氣驅動式이 있다. 그러나 오늘날 일반적으로는 supercharger = 機械驅動式 過給機, turbocharger = 排氣驅動式 過給機이라는 뜻으로 알려져 있다.

機關 高出力化의 기본은 單位時間當 混合氣의 供給量을 되도록 많이하는 것이다. 이 경우 混合氣의 空燃比에서 볼 때 空氣量에 대한 燃料量의 비율은 지극히 적고 또한 燃料의 增量은 간단하다.

그러나 空氣쪽은 燃料에 비하여 압도적으로 多量이고 그 增量이 그렇게 간단하지 만은 않다.

따라서 機關出力은 單位時間當 空氣供給量에 따라 결정되어진다. 이 空氣量의 가장 간단한 增量은 排氣量의 확대이나, 高出力化를 위한 排氣量의 확대에는 자연적으로 한계가 있

고, 一定排氣量으로써 어떻게 하여 보다 높은 出力을 확보하는가가 중요하다. 즉 一定排氣量으로써 單位時間當 어떻게 하여 많은 양의 空氣를 供給 가능케 하는가에 달려있다.

여기에는 충전效率이 문제가 된다. 충전效率(%)이란 『(實際 運轉條件下에 吸入可能한 空氣重量/標準狀態에서의 理論上 吸入可能한 空氣重量)×100』으로 나타내는 數值이다. 이론상 吸入可能의 空氣란 公稱의 排氣量에 상당하는 空氣라는 뜻이다. 이 충전效率이 높을수록 실린더 내에 보다 많은 空氣를 공급할수 있는 것이 되어 出力이 향상된다. 충전效率을 좌우하는 요인은 吸氣管의 壓力과 溫度, 吸氣通路의 抵抗, valve의 開閉時期, 殘留가스量 등 수많은 존재한다. 모든 機關은 적어도 충전效率을 높이기 위하여 위에서의 수많은 요인을 하나하나 검토하였으나 기관에 요구하는 성격이나 cost면에서 제한이 가해진다.

過給은 충전效率을 높이기 위한 有効한 수단이고 過給機를 장착함으로써 吸氣 manifold 內의 壓力을 正壓으로 만들 수 있다. 無過給機關의 경우는 항상 負壓이다. 空氣가 실린더 내에 공급되는 것은 吸氣 manifold 內의 壓力과 실린더內의 壓力이 差壓에 따르는 것이므로, 그 差壓이 높으면 높을수록 충전效率은 높아지게 되는 뜻이 되며, 즉 無過給機關의

\* 한양대학교 공과대학 기계공학과

『空氣를 吸入』으로부터 過給機關에서는 『空氣를 밀어넣는다』라는 狀態로 되는 셈이 된다.

그 過給手段의 대표적인 것이 supercharger 및 turbocharger의 장착이다. 그 중에서 turbocharger에 대해서는 오늘날 수많이 채용되고 있다. 그러나 turbocharger에는 자동차용 機關에 요구되는 throttle response의 양호함을 저해하는 요인이 그 構造上 기본적으로 존재하고 있고, 이것이 turbo lag이다. turbocharger는 그 構造上 어느 질량을 가진 turbine wheel이 排氣 energy에 의해 驅動되는 것이므로 turbo lag는 회피될 수 없다. turbocharger장착의 기관에 있어서 급가속을 생각할 때 다음과 같이 된다. throttle valve의 開도가 작은 運轉영역에서는 排氣量도 적고 turbine wheel의 회전속도도 낮아서 過給效果를 발휘할 수 없다. 急加速 할때는 throttle valve를 全開로 하면 排氣量은 증가되나, turbine wheel에는 질량이 있어 바로 高速回轉은 불가능하고 회전이 서서히 상승된다. 따라서 turbine의 回轉速度가 過給效果를 발휘할 때 까지 상승하는데는 다소의 시간을 요하게 되고 throttle 조작과 차량의 거동에는 약간의 지연이 생긴다. 이 현상이 turbo lag이고 이와 같은 現象을 줄이기 위하여 turbine wheel의 치수를 그 效率를 저하시키지 않는 범위에서 작게 하거나 재료의 질량이 작은 ceramic을 채용하는 등의 개량이 가해지고 있다. 그러나 構造上 turbo lag를 全無토록 하

기에는 불가능하다.

한편, supercharger는 機關의 crank 축으로부터 직접 구동되는 구조이므로 低速으로부터 turbo lag없이 過給效果가 얻어진다.

이 supercharger는 效率이 낮고 騒音이 크며 耐久性이 낮은 등의 問題點을 가지고 있다. 따라서 오늘날 機械驅動過給機로서 채용하기에 이른것은 이들의 問題點이 해결되었다는 전제하에서 이루어지고 있다.

## 1.2 supercharger의 問題點 解決

### 1) 體積效率의 改善

supercharger의 體積效率는 『實際의 吐出空氣量/幾何學的 理論吐出空氣量』으로 표시된다.

體積效率이 낮으면 過給效果가 낮고 機關出力의 향상을 그다지 기대할 수 없을 뿐 아니라 逆流된 空氣가 再壓縮됨으로써 supercharger로부터의 吐出空氣溫度가 상승된다. 그 결과 knocking의 발생이 일어나기 쉬울 뿐 아니라 機關의 吸氣騒音이 높아지고 supercharger의 驅動損失이 증대하는 등의 피해가 생기기 쉬워진다. 따라서 體積效率의 개선은 대단히 중요하다.

supercharger의 體積效率를 低下시키는 큰 요인은 體積室을 構成하는 각 部品間 틈새의 대소에 관계되고 root形의 경우는 두 rotor사이, rotor꼭지부와 housing사이, rotor 측면과 housing사이의 3個所이다. 틈새가 體積效率에 미치는 영향의 예를 보면 rotor 꼭지부와 housing사이의 틈새가 0.1mm 달라짐으로써 體積效率이 약 10.8%까지 변화된다. 따라서 허용범위 내에서 각 틈새를 되도록 작게할 것이 중요하다. 그러나 틈새를 작게하는데는 각 部品の 溫度上昇에 의한 數值變化가 생기고, 또한 가공이나 조립때 생기는 오차 등이 있어서 간단하지 않을 뿐 아니라 膨脹이나 제작 때의 不均一에 따른 部品끼리의 접촉 등으로 알루미늄 등의 경우는 異常音이나 접촉 등의 trouble이 생기게 된다. 이의 방지를 위하여 rotor에 樹脂코팅 등을 함으로써 體積效率의 향상을 도모하고 있다.

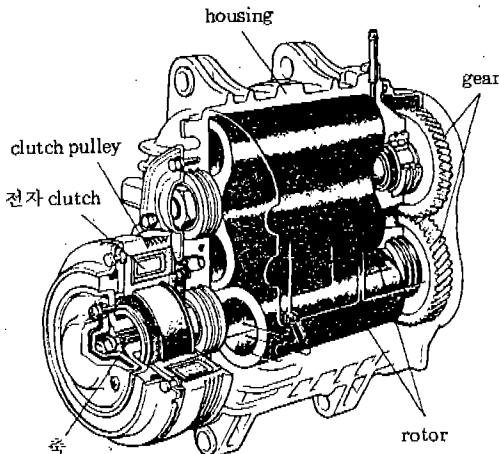


그림 1. supercharger의 구성

2) 騒音의 低減

supercharger 에는 空氣의 吐出과 함께 발생하는 空氣音과 rotor의 회전이나 gear의 물림 등에 의해 발생하는 機械音 등이 있다. 空氣의 吐出音은 吸入空氣가 壓縮되지 않고 rotor의 회전에 의해 吐出部와 맞닿는 곳에서 吸氣管內의 加壓된 空氣가 억류하여 순간적으로 壓縮되기 때문에 생기는 空氣의 脈動音으로 생각된다. 이 騒音低減을 위하여 rotor 꼭지부와 housing 사이의 開口面積을 점차적으로 增大시켜 壓力變動을 억제하는 方策을 取하고 있다.

3) 驅動損失의 低減

가) 驅動損失의 內容과 그 低減策

supercharger 의 驅動損失은 bearing, gear, 및 rotor 등의 回轉抵抗에 의한 機械的인 損失일과 吸入空氣를 壓縮(過給)하기 위한 손실일 등으로 크게 나눌 수 있다. 이 두 損失일중 機械損失일은 적고 약 80% 가가이가 空氣를 壓縮하기 위한 回轉抵抗에 따른 驅動損失일임이 알려졌고, 이 驅動損失일의 전부가 機關의 出力을 吸收하는 것은 아니고 그 중 약 30%는 過給壓力에 의해 機關에 회수되는 것도 확인되었다. 즉 吸氣 manifold의 內壓이 正壓으로 됨으로써 機關의 吸氣行程에서의 pumping loss가 低減되는 결과이다. 그리고 나머지 損失分은 吸氣溫度의 상승분에 상당하고 engine에서는 회수되지 못한채 排氣損失로서 잃어버리게 된다. 그러나 실제 運轉條件에서는 supercharger 에 의한 過給을 필요로 하는 運轉영역 즉 加速이나 高負荷運轉의 比率는 비교적 적은 것으로 생각되어지고 過給이 필요한 때에만 supercharger 를 작동시키고 필요로 하지 않은 運轉영역에서는 OFF 하면 驅動損失이 低減될 수 있고 機關出力을 유용하게 활용할 수 있다. 그 구체적인 수단이 magnetic clutch의 활용이고 supercharger 의 magnetic clutch는 에어콘의 그것과 같은 構造와 작용을 한다. 따라서 過給을 필요로 하지 않는 輕, 中負荷영역에서는 magnetic clutch를 OFF 하여 두면 불필요한 supercharger 의 驅動損失은

내폭적으로 低減될 수 있다. 『supercharger 의 ON, OFF 制御』 다만, 高回轉영역에서는 magnetic clutch의 마멸을 고려하여 ON, OFF 制御를 하지않고 그러한 運轉영역을 위하여 吸氣系에 by-pass system이 채용되고 있다. 이것은 supercharger 의 吐出側 空氣를 by-pass 通路에 의해 吸氣쪽으로 되돌리는 것으로 過給壓力이 상승되지 않음으로써 壓縮일이 低減될 수 있다.

나) ON, OFF 制御

supercharger 의 magnetic clutch를 computer에 의해 ON, OFF 하여 작동을 制御하는 것이다. 각종 sensor로부터의 入力信號에 의해 加速狀態 및 高負荷狀態가 검출되면 computer로부터 magnetic clutch에 ON 信號가 出力되어 supercharger가 작동한다.

supercharger 의 ON 條件은

- a) neutral switch ON, 냉각수 50℃ 以上, 高負荷時
- b) neutral switch OFF, 高負荷時 또는 어느 高速回轉速度 以上.
- c) throttle position sensor의 PSW 接點 ON 때.  
(가속 pedal 開度 大)
- d) 急加速時 등이다.

2. Twin turbocharger

2.1 twin turbocharger의 構造

twin turbo는 두개의 turbocharger가 함께 장착되어 있고 이렇게 함으로써 turbine wheel과 compressor wheel의 지름을 작게하는데 큰 이익이 있다. 즉 능력면에서는 동일하나 turbine이나 compressor의 wheel이 적어질 뿐 아니라 單體重量도 輕量化된다.

2.2 twin turbo의 mechanism과 merit

twin turbo의 single turbo와의 가장 크게 다른 점은 twin turbo化 함으로써 排氣 manifold가 2系統으로 분할된다는 점이다. 6실

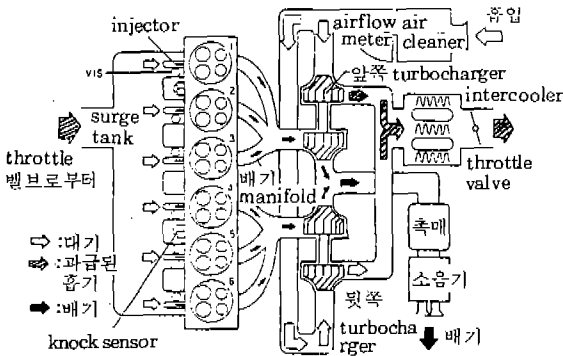


그림 2. twin turbo의 흡배기

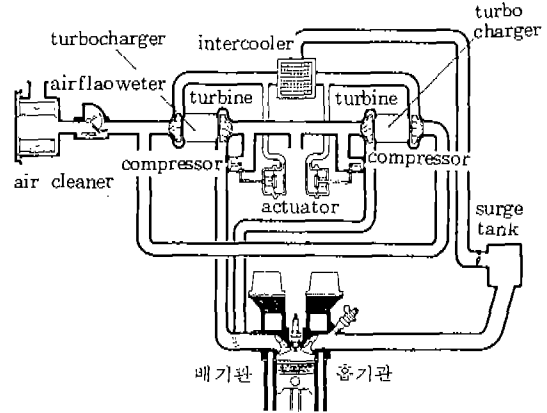


그림 3. 터보차저의 작동 시스템도

린더 기관의 경우 2개의 turbocharger 중 앞쪽은 1, 2, 3번 실린더의 배기로, 뒷쪽은 4, 5, 6번 실린더의 배기로 驅動된다.

한편 두 個의 turbocharger 에 의해 過給된 空氣는 하나로 모여져서 intercooler, throttle valve, surge tank 를 통하여 燃燒室로 유도된다. turbocharger 의 欠點의 하나인 turbo lag 에 대하여는 twin turbo 化에 의해 이것이 개선되고 또한 merit 이다.

turbocharger 에 대한 排氣 manifold 의 접속은 점화순서가 인접되지 않도록 되어있고 이것은 twin turbo 化 함으로써 가능하다. single turbo 에서는 排氣行程의 일부가 중복된 실린더로부터 하나의 turbo 로 排氣가 流入됨으로써 排氣干涉이 생기나 twin turbo 에서는 排氣行程의 일부가 겹치는 실린더로부터의 排氣는 앞쪽과 뒷쪽 turbo 로 각각 별도로 나누어져 流入됨으로써 排氣干涉은 대폭적으로 低減된다. 이로써 排氣效率이 향상되고 排氣 energy 가 유효하게 이용되므로써 turbocharger 의 效率도 향상된다.

이 성과는 turbocharger 의 小形化를 도모하는데도 가능할 뿐만 아니라, turbine 이나 compressor 의 wheel 이 小形化되어 turbo lag 의 低減에도 큰 效果를 발휘한다.

### 2.3 turbocharger의 作動

twin turbocharger 의 system 은 다음과 같다. turbocharger 에 의한 過給壓의 상승은 機關의 回轉速度 상승에 비례한다. 따라서 低速

回轉영역에서는 過給效果가 충분히 얻어지지 못하고, 逆으로 高速回轉영역에서는 지나친 過給壓의 상승으로 機關에 무리가 생겨 過給壓의 制御를 필요로 한다. 이 過給壓의 制御는 일반적으로 turbine wheel 에 유도되는 排氣의 일부를 도중에서 by-pass 시키는 waste gate 방식이 채용되고 있다.

低速回轉영역에서의 낮은 過給壓은 actuator 를 통하여 waste gate valve 를 닫아 排氣는 全量 turbine wheel 에 작용하여 동일축에 접속되어 있는 compressor wheel 이 회전한다. 그리고 機關의 回轉上昇에 따라 排氣量이 증가되는데 따라서 turbine wheel 의 回轉速度도 상승되어 compressor wheel 과 cylinder 사이의 吸氣는 壓縮되어 吸氣 manifold 內의 壓力은 正壓으로 되고 過給效果가 발휘된다. 機關의 回轉速度가 더욱 상승되어 過給壓이 設定壓에 도달하면 actuator 의 diaphragm 이 waste gate valve 를 여는 쪽으로 밀어 waste gate valve 는 過給壓의 높이에 상응하여 그 開도가 制御된다. 그 결과 waste gate valve 의 開도에 상응하는 量만큼의 排氣가 turbine wheel 에 energy 를 가하지 않고 버려져서 turbine 의 回轉速度는 一定速度로 制御되고 따라서 過給壓도 設定壓을 유지한다.

### 2.4 水冷式 intercooler system

intercooler 는 過給作用에 의해 상승된 過給

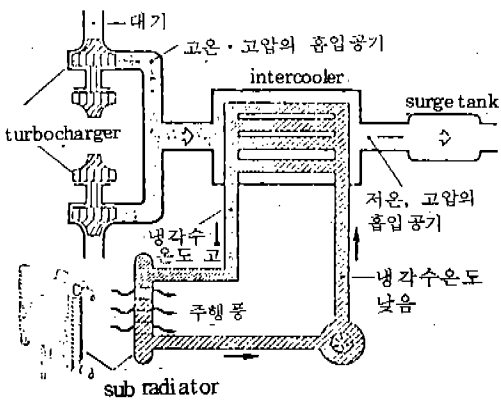


그림 4. 수냉식 intercooler system의 구성

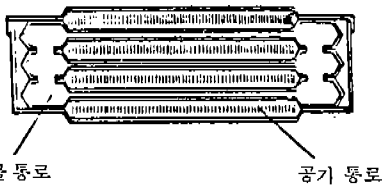


그림 5. intercooler의 단면도

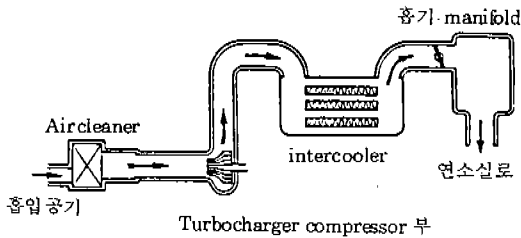


그림 6. 공냉식 intercooler 시스템

氣를 冷却하여 충전效率을 높임과 동시에 knocking의 발생을 억제하는 효과를 이용하여 점화시기를 advance 시켜 출력향상에 크게 기여하는 것이다. intercooler에는 空冷式과 水冷式이 있고 水冷式의 경우에는 사용되는 예가 매우 드물다.

가) intercooler system의 構成

intercooler 用의 冷却系는 engine 冷却系와는 완전히 독립되어 있다. 따라서 冷却水의 순환은 intercooler 專用의 water pump에 의해서 強制的으로 이루어진다.

sub radiator가 차량전면에 장착되고 intercooler에서 過給氣로부터 冷媒인 冷却水에

吸收된 熱을 대기중에 방산하고 있다. intercooler는 그림과 같이 空氣『過給氣』通路와 冷却水通路로 나누어져 있고 高溫의 過給氣와 低溫의 冷却水 사이에서 熱交換이 이루어지며, 最大冷却溫度는 40℃ 정도이다.

3. Jet turbo

turbocharger는 일반적으로 機關의 排氣量이나 사용목적에 따라 turbine wheel의 지름이나 A/R比를 단일로 결정할 수 없다. 機關은 低速形 혹은 高速形으로 명확하게 그 성격이 부여되고 특히 그 나라 도로사정 등 운전성에 맞는 性格의 機關『低速으로부터 高速까지 flat한 torque特性』을 가지는 것은 매우 어렵고, 특히 低速回轉영역의 torque 향상을 이룩하려면 소형이면서도 A/R比가 작은 turbocharger를 장착할 필요가 있다. 그러나 이것으로는 逆으로 機關이 高速으로 되면 過給效果가 低下됨과 동시에 耐久性도 떨어진다. 또 高速回轉영역의 torque를 향상시키기 위해서는 대형의 turbocharger가 필요하게 되나 이 때에는 低速回轉영역에서의 torque 향상이 기대되기 어려운 등의 난점이 있다.

turbine이나 compressor wheel의 형상이나, 축의 回轉抵抗의 低減을 비롯하여 高壓縮比化, knock control system, intercooler 등의 장착이나 燃料供給 response 등, 그동안 총합적인 각종개선은 이루어져 왔으나 全運轉영역에서의 이상적인 운전성은 충족하지 못하고 있다. 이를 위하여 일부에서는 소형의 turbocharger를 並列로 하여 2基 장착한 방법 등이 채용되고 있으나 아직 運轉性의 만족을 이룩하지 못하는 실정이다. 이밖에 이상적으로는 소형과 대형의 turbocharger를 直列로 2基 장착할 것이 고려되고 있으나 이는 吸氣系의 配管이 복잡해질 뿐 아니라 量產車의 機關으로서의 제작상 난점이 있다. 그러나 앞으로는 이 방식이 가능할 것이다. 그러한 의미에서 jet turbo는 1基의 turbocharger로 低速回轉영역으로부터 高速回轉영역까지 全運轉영역에서의 이상적인 torque特性을 가지도록한

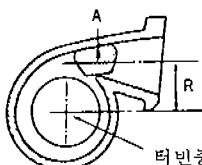
것으로 ECCS control unit에 의한 制御로 이상적인 運轉性を 실행시키고 있다. base engine에 jet turbo를 장착하고 低速으로부터 高速까지 turbine housing에 내장된 可變 flap開도와 性能 면과 matching되는 점을 결정, ECCS control unit에 의해 可變 flap을 制御하여 각회전에 대한 全負荷, 部分負荷 『1/4, 1/2, 1/4 load』에서의 성능특성이 얻어 지도록 최적의 제어를 가능하도록 한 것이다.

### 3.1 構造와 特性

#### 가) 構 造

turbine의 回轉力은 turbine housing內에 流入하는 排氣速度와 壓力에 좌우된다. 즉 排氣와 流入速度가 壓力에 비례하여 turbine의 回轉力은 增大하고 回轉速度가 빨라져서 보다 양호한 過給效果를 얻게되며 동일한 機關인 경우 排氣流入速度나 排氣壓力은 A/R比에 따라 결정된다.

A/R비란 『turbine housing入口의 最小斷面(A)/turbine의 中心으로부터 turbine housing入口最小斷面積(nozzle)의 중심까지의 거리』이다.



A/R비란 배기노즐의 最小斷面積(A)÷ turbine의 中心으로부터 배기노즐의 最小 斷면적 中心까지의 거리

그림 7. A/R 비

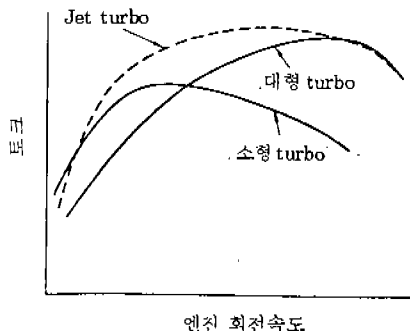


그림 8. Jet turbo의 성능곡선

A/R比를 작게하면, 排氣流入量이 적은(機關의 吸入空氣量이 적다) 低速, 低負荷運轉영역에서 排氣流入速度와 排氣壓力이 상승하여 turbine의 回轉力增加로 過給의 순발이 빨라지게 되어 torque와 response가 향상된다. 그러나 高回轉, 高負荷運轉영역에서의 turbine nozzle部에서의 排氣抵抗이 增大되고 過給壓이 저하되는 choke 현상이 발생함과 동시에 背壓이 상승하여 燃燒室內의 吸氣 충전效率이 低下되고, 이로써 turbocharger의 過給特性은 低速形으로 된다. 또 A/R比를 크게 하면 排氣流入量이 많은(機關의 吸入空氣量이 많은) 高速, 高負荷運轉영역에서는 turbine housing內 排氣의 流入이 원활하게 되고, turbine의 回轉力이 증가하여 過給壓이 상승되어도 背壓이 높아지지 않고 torque와 response도 좋아진다. 그러나 排氣流入量의 적은 低速, 低負荷運轉영역에서는 排氣流入速度와 排氣壓力이 낮아져서 turbine의 回轉力이 약하고 過給效果의 낮은 高速形의 turbocharger로 되어 버린다.

이와같이 일반적인 turbocharger는 base engine의 排氣量이나 차량의 성격 등에 맞추어서 turbocharger의 크기나 A/R比 즉 過給特性을 선택, 機關自體를 비롯 차량전체에 대하여 합리성을 기하고자 한 것이 jet turbo이다. 이와 같은 turbo engine의 回轉速度나 負荷條件에 상응하여 A/R比를 항상 最適狀態로 가면서 커 이상적인 過給效果를 발휘하는 jet turbo를 장착하여 全運轉영역에서 torque가 flat하면서 큰 특성을 얻고자 하는 것이 jet turbo의 merit이다.

#### 나) 특 성

jet turbine은 turbine housing內에 排氣가 流入하면 排氣의 흐름이 중심부에 가까워짐에 따라 가속되어 빨라지는 free vortex 현상이 발생하고, turbine의 半徑方向으로 요동가능한 flap를 설치하여 低速 低負荷運轉영역에서도 free vortex에 의한 排氣流入 加速效果에 따른 過給效果가 향상토록 하는 機構이다. 즉 jet turbo는 機關의 回轉速度나 負荷에 상응, 可動式 flap의 開도를 달리하여 A/R = 0.21 (低速形)으로부터 0.77 (高速形)까지 변화시

켜 過給壓을 制御하고 全運轉영역에 있어서 torque 변화가 적은 flat 한 torque 특성이 얻어지도록 하였다. 특히 低速, 低負荷運轉영역으로부터 高速, 高負荷영역에 걸쳐 過給效果를 높이기 위하여 turbo housing 入口의 斷面積을 크게 하고 低速, 低負荷時에는 可動式 flap의 開度を 작게 하여 free vortex의 발생영역을 확대하고 turbine nozzle 通過後의 流速을 다시 加速시켜 過給壓을 높이는 構造로 되어있다.

또 可動 flap은 可變量이나 可變速度에 한도가 있어서 response의 양호성과 制御의 精確度를 높이기 위하여 排氣 by-pass valve를 채용하고 運轉狀態에 맞추어 可動式 flap과 排氣 by-pass valve의 開度を ECCS로 電子 制御하고 定常走行時에는 過給壓과 背壓의 평

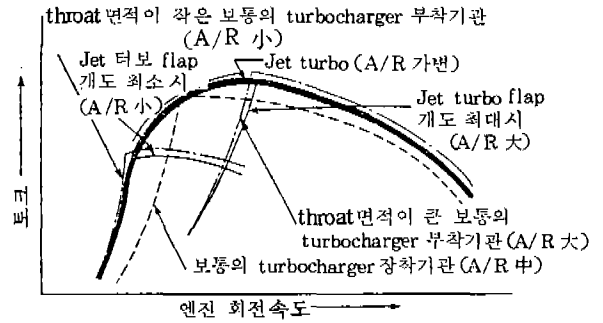


그림 9. A/R에 의한 토오크 특성과 차이

형을 取하여 최상의 torque 특성을 얻고 특히 急加速時에는 일시적으로 過給壓을 높이는 over boost 機能을 가지게 하여 torque의 순발을 빠르게 함으로써 應答性의 향상을 도모하고 있다.