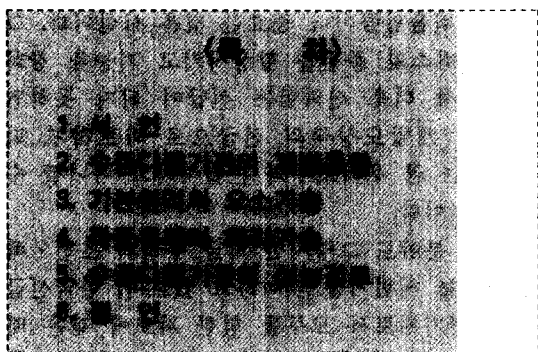


# 수중 동력용 디젤기관

박 태 인

〈해사기술연구소 실장〉



## 1. 서 언

우리나라는 좁은 국토와 넉넉치 못한 부존자원을 감안할때 국제적으로 치열해지는 해양영토화 대열에 선진국과 경합해야할 운명에 처해 있어 해양장비분야의 기술개발은 시급한 과제이며 해양자원개발을 위한 장비의 동력원연구에 대한 관심이 크게 집중되고 있다. 현재 전세계적으로 대륙붕 석유자원 개발등의 해중작업을 목적으로 하는 잠수정등은 100척이상이 되나, 그 대부분의 동력원은 연축전지를 사용하므로써 목적하는 잠수가능시간이 극히 짧아 작업범위가 제한되고 있어 이에 대비한 강력한 동력을 오랜시간 공급할 수 있는 독립 잠수작업정용의 수중 동력원의 개발이 강력히 요망되고 있다.

이러한 요구에 대하여 연료전지, 스테링기관, 디젤기관등을 사용한 여러가지 수중동력이 제

안되고 있으며 외국에서는 종래의 수중동력장치인 연축전지보다 더 장시간에 걸쳐 계속적으로 가동될 수 있는 강력한 동력장치의 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나 연료전지는 아직 개발중에 있고 스테링기관은 정숙한 기관이라고는 하지만 기관의 개발이 거의 완료된 단계에서 그 신뢰성이나 제어방법등의 확인이 아직 불충분하다. 그래서 디젤기관은 역사가 제일 오래고 신뢰성, 조작성, 열효율등에서 우수하고 취급이 용이하여 디젤기관을 중심으로 한 수중동력장치로서 CCDE(Closed Circuit Diesel Engine)가 개발되고 있다.

따라서 본고에서는 해중장비의 동력원으로서 디젤기관을 중심으로 한 수중디젤기관의 연구개발동향, 시스템의 원리 및 금후의 기술개발과제에 대하여 그 개요를 소개하고자 한다.

## 2. 수중디젤기관의 개발동향

수중디젤기관은 제2차 대전 말기에 독일이 U-boat용 추진기관으로서 1500마력 전후의 것의 개발이 착수되어 실용화 직전에 있었다고 전해지고 있다. 또 미국, 일본해군에서도 비슷한 연구가 행하여져 왔으며 전후에도 각국에서는 군사용으로 연구개발이 계속 되어 영국의 Roicardo사, 일본의 HITACHI조선소 등에서 개발되어 왔다. 그러나 최근에는 미개척지로 남

은 해양자원의 평화적인 이용을 위해 선진국들은 해양장비 개발에 노력을 계속하고 있다.

HITACHI 조선소에서는 그림1과 같은 배기 흡기방식의 것으로서 출력 16kw의 전력을 공급하는 수중발전장치를 개발하였으며 짧은 시간이지만 해저 100m까지의 시험을 하였다.

또 이태리의 Maritaria 사에서는 C(Compact Closed Circuit)라고 칭한 CCDE를 개발하여 Phonic 씨리즈의 소형 잠수정에 의한 실선시험을 행하여 동사의 소형잠수정의 동력으로써 수십~수백마력의 각종 출력범위의 것을 계획하고 있다고 한다.

영국의 Newcastle 대학의 A.Fowler가 개발한 해수 용해법을 이용한 Argo-Diesel을 개발하였는데 이는 흡입된 해수를 일단 WAS (water management system)라고 하는 장치에서 탄산가스를 흡수하는 것이다. 또 A.Fowler 등은 기관배기가 냉각수, 충전층식(充瑣層式)의 탄산가스 흡수기에 들어가 흡수제수용액과 직접 접촉하여 탄산가스가 제거된후 산소를 혼합하여 다시 기관에 흡입되는 Nitro-Diesel을 개발하였으며 출력은 38kW이다.

서독의 Thyssen Nordo Sewerge GmbH (TNSW)사에서도 작동가스(탄산가스)가 해수에 의해 용해되는 Argo-Diesel의 Mock-up 장치로서 육상시험을 마치고 Sea Horse II형 잠수정에 출력 100kW의 수중디젤기관을 탑재하여 실선실험을 하고 있다.

그리고 최근 일본의 미쯔이 사가 가동시간이 200시간이 되는 235kW급의 약물재생방식의

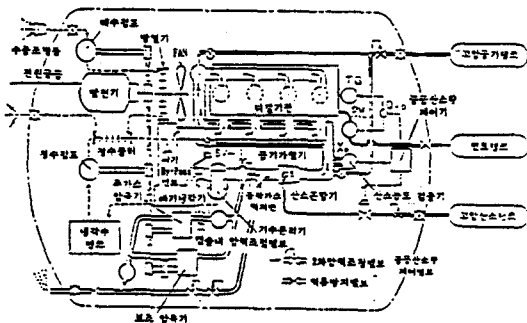


그림 1. HITACH조선의 Recycle 디젤기관

탄산가스 흡수장치를 갖춘 CCDE를 개발하였다. 우리나라는 축전지를 이용한 250m급 유인 잠수정은 개발되었으나 이의 디젤기관은 아직 개발되지 못하고 있다.

### 3. 기본원리와 요소기술

#### 3.1 기본원리

디젤기관이 대기중에서 공기를 흡입하여 연료가 연소된후 그 연소배기물을 대기로 방출하는 소위 Open Cycle식의 엔진에 대한 기본구성이 그림2에 표시되고 여기서 공기는 작동유체라고 한다.

CCDE에서는 그림3에 나타난것과 같이 디젤기관에서 배출된 배기에서 수분, Soots, 탄산가스등의 연소생성물을 제거한 후 산소를 첨가하여 다시 기관으로 순환 공급하여 연료가 연소되어 일을 하는 것으로서, 공기가 없는 밀폐된 좁은 장소에서의 가동을 가능하게 하는 것이다. 즉 최초로 시스템이 가지고 있던 가스를

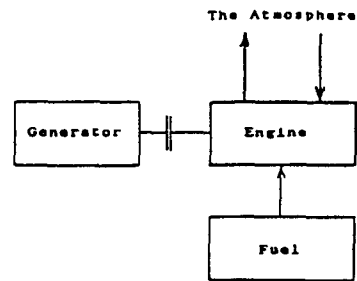


그림 2. Open cycle 디젤기관

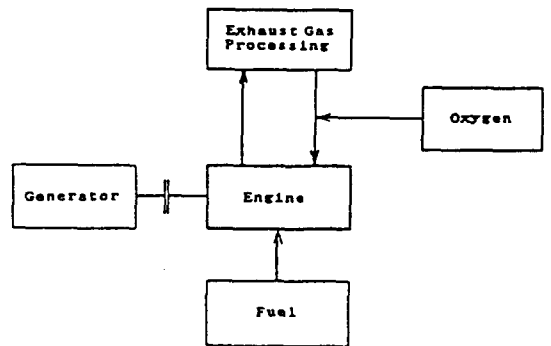


그림 3. Closed circuit 디젤기관의 기본구성

반복하여 작동유체로 사용하게 되어 Close Circuit이라 한다.

연료가 연소하는데에는 산소가 필요하지만, 순산소만으로는 연소온도가 굉장히 높아서, 윤활유가 타버리거나 각 부재가 견딜 수 없는 등의 문제가 발생한다. 이러한 문제로 연소실에 흡입되는 작동유체로는 연소온도를 낮추기 위해서 불활성 가스가 필요하며, 결국 산소는 이 불활성 가스로 그 농도를 희석시켜 대기에 가까운 산소농도로 사용한다. 따라서 여기서는 현재 주로 연구개발되고 있는 석유계 액체연료를 쓰는 CCDE에 관하여 생각해 본다.

### 3.2 요소기술과제

현재 CCDE가 다시 부각되어, 세계 각국에서 CCDE의 연구가 급속히 진행되어지고 있고 실선에서의 시험이 가능하게 되기까지는 computer나 각종 첨단계측기기의 진보로 기술환경이 충분히 성숙되었기 때문인 것으로 디젤기관을 CCDE화하기 위해서는 다음에 기술하는 과제에 해결이 선행되어야 하며 여기서 그 내용을 검토해보고자 한다.

#### 가) 연소배기처리기술

수중에서 가동하는 디젤기관의 연소폐기물은 수압때문에 그대로는 시스템 밖으로 배출할 수 없다.

따라서 연소로 발생한 잉여가스는 필히 어떻게 해서라도 처리되어야 하고, 이때 처리방법에 따라서 작동가스의 성분이 결정되며, 그 성분의 물성에 따라서 열효율등의 CCDE의 특성이 결정된다. 탄화수소연료의 경우 작동유체의 불완전연소에 따라 발생하는 매연이 혼입되며 이의 제거도 중요한 과제이다.

#### 나) 열 사이클의 최적화

수중에서 기관을 오랜시간 가동시키려면 연료와 산소의 소비를 적게하지 않으면 안된다. 이를 위해 사용되는 작동가스의 특성상 사이클 최적화를 기하고 시스템 전체의 효율을 향상시켜야 한다.

#### 다) 배열이용기술

CCDE에서는 고온 배기를 냉각 정화하여 그것에 산소를 첨가하여 다시 기관의 흡기로서

사용한다. 따라서 냉각과정에서 배기가 갖고 있는 열에너지를 잘 빼내어 유효하게 이용하면, 시스템 전체 열효율을 향상시킬 수 있다.

이러한 연구는 수중동력원 같이 극한 환경조건에서 사용되는 동력장치에서는 필수 불가결한 것이다.

#### 라) 산소공급제어 및 저장기술

CCDE가 연속적으로 가동되기 위해서는 기관의 흡기에 산소를 적절한 양으로 조절하여 공급하여야 한다.

산소는 가연성 가스로서 많아지면 시스템에는 위험하지만 적어지면 기관의 작동이 지속되지 않는다. 그러므로 소비량에 있어 적절한 양의 산소를 안전하게 공급하고 효율적으로 저장하는 기술도 중요하다.

#### 마) 시스템 제어기술

수중동력으로서의 목적을 위해서는 CCDE는 기동에서 정지까지 사람의 손에 의하지 않는 상태에서 자동운전이 가능하여야 된다고 생각된다. 즉 자동적으로 시스템 전체의 균형을 유지하면서 운전이 될수있는 Computer을 중심으로 한 자동 제어기구가 필요하다.

#### 바) 방진 및 방음기술

수중에서의 통신이나 항행에는 일반적으로 음파가 이용된다. 디젤기관은 비교적 소음이 큰 열기관이기 때문에, 가동조건이나 목적에 따라서는 방진, 방음에 세심한 주의를 확대하여 시스템외로 나가는 소음, 진동의 저감에는 충분한 대책을 세울 필요가 있다.

## 4. 작동유체의 처리기술

석유등의 탄화수소계 연료를 사용하는 경우, 연소로부터 물, Soots, 탄산가스(CO)등이 발생한다. 수분은 냉각함으로써 제거되고, Soots는 기관 흡기의 산소농도를 약간 율함으로써 문제가 안될 정도로 억제될 수 있으나 탄산가스의 처리는 CCDE의 중요한 과제로서 다음과 같은 복잡한 과정을 거쳐야 한다.

- ┌ 탄산가스 작동 방식
- └ 탄산가스 분리 방식
  - └ 해수 용해법

- 약물수용액에 의한 흡수분리법
- 흡착분리법(활성탄, 고체아민등)
- 기능막에 의한 투과분리법
- 냉동액화법

CCDE의 운전방식은 주작동가스를 탄산가스로 하느냐 안하느냐에 따라서 대별되며, 이러한 방법에서 어느것을 택하느냐에 따라서 CCDE의 작동가스, 필요한 주변기기의 종류나 그것들의 용량이 결정되며, 시스템의 전체효율을 결정하는데 아주 중요하다.

다음에는 현재까지 연구가 행하여졌거나, 현재 개발중의 CCDE의 몇개의 배기처리방법을 중심으로 설명한다.

#### 4.1 탄산가스 작동방식

이 방법은 압축배출법을 이용한 방식으로서 CCDE의 기본형이라고 말하며, 흡기가 순환됨으로 Recycle 방식이라고 칭한다. 기관의 배기를 냉각함으로써 연소에 의해 생성된 탄산가스 양에 상당하는 잉여배기를 빼내고 압축기에 의해 수중에 배출한다. 냉각된 나머지 배기는 산소를 혼합하여 작동가스로서 다시 기관에 공급된다.

따라서 순환작동가스는 탄산가스, 수증기, 산소의 혼합기가 되며 다음과 같은 특징이 있다.

- 시스템이 간단하여 소요기기가 적고 전체적으로 콤팩트하다.
- 탄산가스의 비열비가 작기 때문에 열효율이 저하되고 시동성이 좋지 않은점 외에 잉여 배기중에 함유된 산소도 동시에 배출되기 때문

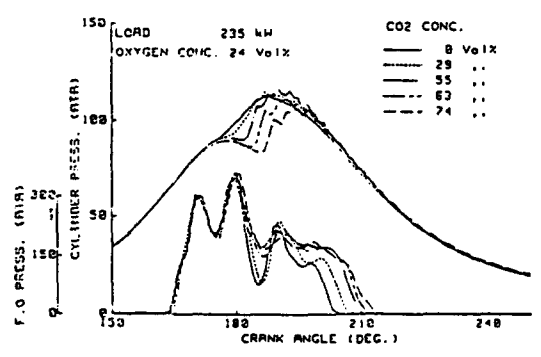


그림 4. 탄산가스농도에 따른 시린더내 압력변화

에 산소소비율이 커진다.

○ 수심이 깊어지면 잉여배출용 압축기의 소요동력이 커져서 열효율이 나빠진다. 따라서 대륙붕등 비교적 얇은 곳에 좋다고 생각된다.

여기에서 작동가스중에 탄산가스가 존재하는 경우의 영향을 출력 320PS/1800rpm의 기관을 사용하여 실험적으로 조사한 결과는 그림4와 같으며, 이는 기관흡기중의 탄산가스 농도를 변화시킨 경우에 시린더내 압력 및 연료분사압력(128 Cycle의 평균)의 변화를 보여준다. 탄산가스 농도가 상승하면 착화지연이 길어지고, 이에 따라 연료소비율이 나빠지기 때문에 연료분사 압력에도 변화가 있어야 된다고 판단된다.

또 그림 5는 흡기중의 탄산가스농도와 기관 성능의 관계로서, 제성능이 악화되고 있음을 알수있다. 이 실험에 의하면 25% 부하에서 탄산가스농도가 35% 이상에서는 운전이 불가능

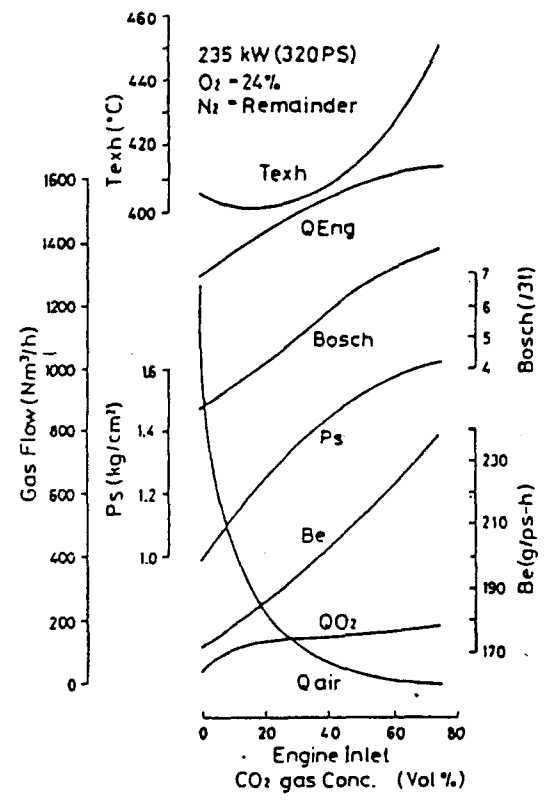


그림 5. 탄산가스 농도에 따른 기관 성능

했다.

이와 같은 성능이 나빠지는 원인은, 탄산가스의 비열비가 작는데 원인이 있다. 이상의 실험은 기관에 특별한 대책을 세우지 않고 공기운전사양(空氣運轉仕様)대로 실시하던 것이지만 순환흡기방식의 CCDE에서는 이 탄산가스의 악영향을 완화하기 위해서, 흡기중의 산소농도를 높이거나, 고온배기의 일부를 흡기에 도입하거나 배기와 열교환등으로 부터 흡기 온도를 높이거나, 기관을 개조하여 압축비를 높이는 등의 대책이 시도되고 있다.

#### 4.2 탄산가스 흡수분리방식

이 방법은 배기가스중의 탄산가스를 흡수제거하여 그후에 필요량의 산소를 혼합하여 다시 기관에 공급하는 방법으로서 탄산가스만을 선택적으로 배기로부터 제거하기 위해 주작동가스는 임의의 것이 선택된다. 예를들면 질소를 작동가스로 사용하면 공기에 가까운 조성의 흡기로 운전하는 것과 같이 통상 디젤기관이 공기운전과 같은 성능을 얻는 경우가 있다.

게다가 Argon 등의 비열비가 높은 가스를 사용하면, 기관성능의 대폭적인 개선이 요구된다.

이와같은 탄산가스 흡수법중 흡착분리법, 기능막에 의한 투과분리법 및 냉동액화법등은 아직 기본적인 기술문제가 해결되지 못해 현실적에서는 CCDE에 적용된 예는 없는 것 같다.

##### 가) 해수에의 용해제거

해수를 이용해서 배기중의 탄산가스를 흡수하는 방법으로서 탄산가스의 해수에의 용해도는 산소등의 가스에 비해 비교적 높은 것으로, 연소로 발생하는 탄산가스량을 흡수하기 위해서는 다량의 해수가 필요하고, 탄산가스 흡수장치도 커야 한다.

따라서 가능한한 용해도를 높여서 흡수장치를 허용 가능한 크기로 억제하기 위해서는, 온도를 낮추고 탄산가스의 분압(分壓)을 올리는 일이라고 생각된다. 이 분압을 올리는 방법로서는 배기의 일부를 빼어내서 압축기를 사용하여 고압까지 압축하든가, 시스템내의 작동가스를 높은 압력 수준으로 유지하여 운전하든가, 탄산가스의 농도를 높이는 방법등이 있으

나, 기관흡기측의 제한범위를 무시하고 작동가스의 분압을 올리는 일은 불가능하다.

그림 6은 영국 Newcastle 대학의 A.Fowler가 개발한 해수용해법을 사용한 Argo-Diesel의 예로서 흡입된 해수를 일단 WMS(water management system)라고 하는 장치에서 수압을 내려 회전식의 흡수장치에 도입하여, 탄산가스를 흡수하는 것이다. 탄산가스를 흡수한 해수는 다시 WMS를 통하여 펌프로 해중에 배출된다.

이 방법은 탄산가스 흡수장치를 소형화하기 위해서 시스템전체의 작동가스를 2bar-g까지 올려 운전하며, 또 작동가스중의 탄산가스 농도를 비교적 높은 수준으로 평형시켜서 탄산가스 용해량을 유지한다. 이때문에 기관 흡기의 탄산가스 농도도 높게 하지 못하고 앞서서와 같은 악영향을 받지만, 이의 대책으로서 그림7에서와 같은 방법으로 압축행정중 시린더내의 비열비를 검출하여, 공기상당의 비열비 1.4를 유지하므로써 작동가스중에 Argon을 주입하여서 성능악화를 방지한다.

따라서 작동가스는 질소, 탄산가스, 산소, Argon, 수증기의 혼합기도 된다.

이 방식의 최대특징은 해수를 사용하기 때문에 다음에 기술할 약물방식과 같은 탄산가스 흡수제를 포함시켜 설치할 필요가 없는 점이 있지만, 흡수능력을 유지하면서 연소성능을 유지하기 위해서 여러가지 기기나 그의 제어가 필요하고, 시스템이 복잡한 것이 큰 단점이다.

##### 나) 약물제수용액에 의한 탄산가스 흡수법 약물에 의해서 탄산가스를 화학적으로 흡수

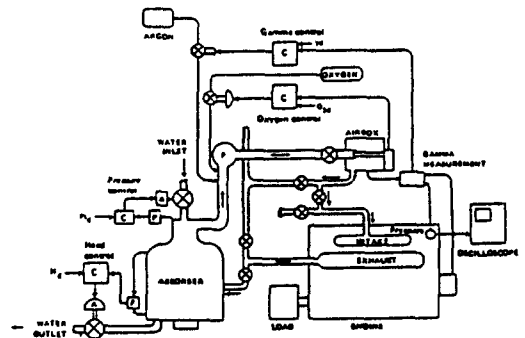


그림 6. Argo-Diesel test rig

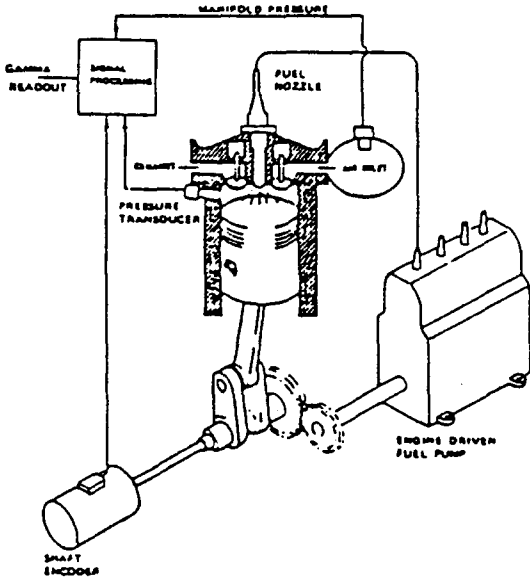


그림 7. Gamma control

하는 CCDE는 사용흡수약물의 특성에 따라 그 종류도 대별된다. 즉 탄산가스를 한번 흡수하면 흡수능력이 없어지는 약물을 사용하는 소위 비재생방식과 가열등으로 흡수된 탄산가스를 방출하여 흡수능력이 회복되는 약제를 사용하는 재생방식이 있다.

#### 비재생방식 흡수제

탄산가스흡수방식의 CCDE는 대개 이 방식으로서 흡수제로서는 수산화나트륨(NaOH), 수산화칼륨(KOH) 등이 사용된다.

이들은 흡수능력이 높기 때문에 배기중의 탄산가스는 대개 흡수되고, 기관에 사용되는 작동가스는 이론상 공기와 같은 조성이기 때문에 높은 열효율로 운전이 가능하다.

그림8은 영국 Newcastle 대학의 A.Fowler등이 개발한 Nitro-Diesel의 예로서 기관배기는 냉각수, 충전층식(充填層式)의 탄산가스 흡수기에 들어가 흡수제수용액과 직접 접촉하여 탄산가스가 제거되어, 그후 산소를 혼합하여 다시 기관에 흡입된다. 흡수제는 KOH수용액을 사용한 것이다. 이 방식의 특징은 탄산가스를 흡수한 약제를 탱크장치에 남겨 있도록 하기 위해서는 완전히 외부와 차단된 상태에서 운전

이 가능하고, 깊이에 따른 영양이 없고, 또 시스템의 중량 변화도 없기때문에 부력조정 등도 필요하지 않다.

그러나 반대로 이 흡수제의 보유량이 문제가 되고, 기관출력이 크든가 가동시간이 길어지면 흡수제의 보유량이 커지는 것이 문제이다. 이것 때문에 유인잠수정이 필요로 하는 100kW 이상의 출력범위에서의 적용은 무리한 것으로 판단되어 Nitro-Diesel을 연구하고 있는 A. Fowler 등도 결국 전술의 Argo-Diesel의 개발을 하게 되었다. 따라서 이 비재생 방식의 특징을 보면, 소출력, 단시간가동, 깊이가 깊은 쪽으로 생각된다.

#### 흡수제 재생방식

탄산가스 흡수제를 재생하여 순환사용 하는 것으로부터, 흡수제의 보유량을 줄이고, 약제에 의한 높은 탄산가스 흡수율을 얻기때문에, 앞에서 언급한 비재생방식의 보유량의 문제를 해결하는 것으로서 미쯔이 CCDE는 이 방식을 채용한 것이다.

이 장치에는 MEA(Monoethanalamine)등의 소위 Alkanoram인이나  $K_2CO_3$ 등의 소위 Alkali carbonate가 수용액의 형태로 사용된다.

이것을 CCDE에 적용하면 탄산가스 흡수제는 순환되어 사용되기 때문에 높은 흡수성을 유지하면서 그 보유량은 비재생식에 비하여 대폭적인 저감이 가능하다. 이 방식의 채용 가능여부에 대한 최대의 관점은 이들 장치를 여하히 콤팩트하게 하느냐에 달려 있다.

이 CCDE시스템의 구성은 그림9에 나타낸것

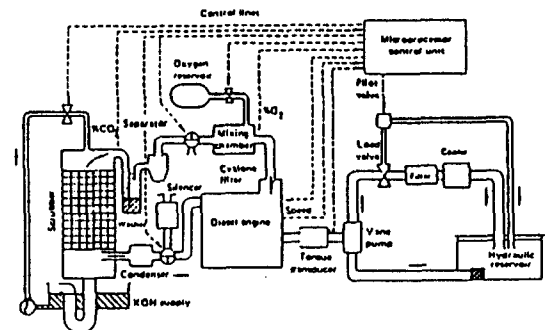


그림 8. Nitro-Diesel

으로, 기관의 배기는 과급기터빈을 회전시킨후 약물재생기에 들어가서 약액에 재생되기 위한 열에너지를 주고, 배기가스 냉각기에서 상온까지 냉각된다. 연소에 의해서 발생된 수분은 여기서 응축분리 된다. 그 후에 배기는 흡수기에 들어와서 흡수액과의 직접접촉에 의해서 탄산가스가 제거된다. 탄산가스가 제거된 배기는 연료의 연소에 적합한 양의 산소가 공급된 후, 과급기 Blower로 송압되어 중간 냉각기로 냉각되어 다시 기관에 흡입되어 순환되어 사용된다. 한편 흡수액 Line은 흡수기로 탄산가스를 흡수한 Rich한 액은 약액에열기에 보내지고, 재생된 Lean한 액도 열교환기로 예열되어, 가열기로 기관윤활유에 의하여 더 가열된 후 재생기에 들어간다. 재생기에는 Rich한 액을 배기에서 열에너지를 받은 탄산가스를 방출하여 재생된다. 재생된 Lean한 액은 약액에열기로 Rich한 액에 열에너지를 주며 냉각기로 상온까지 냉각되어 흡수기에 돌아가고 다시 탄산가스를 흡수한다. 재생기로 분리된 탄산가스는 압축기로 주위의 수압에 견딜 수 있는 압력까지 송압되어 시스템 밖으로 배출된다. 이 시스템에는 주동작가스로서 질소를 사용할때는 그림중에 대기흡입, 방출밸브를 바꿈으로써 동일기관에서 해상, 해중의 운전에 사용하는 것이 가능하다.

탄산가스 흡수제는 그 흡수 및 재생능을 검토한 결과 최대로 적당하다고 생각되는 MEA수용액을 사용하고 있다.

그림10은 산소공급 제어계의 제로도이다.

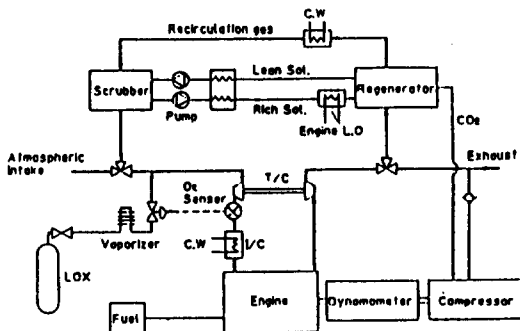


그림 9. MITUI CCDE의 구성도

산소의 공급량은 기본적으로는 기관입구의 작동가스중의 산소농도를 일정치로 유지 제어되는 만큼 상당히 간단한 것이지만, 이의 설정치는 기관의 부하에 따라서 컴퓨터가 최적치를 계산하여 조절계에 의하여 소정의 산소가 공급되도록 되어 있다. 또 산소유량은 연료유량과의 정합성을 단절시키지 않고 검지하여, 과잉으로 산소가 공급되지 않는 시스템으로 되어 있다.

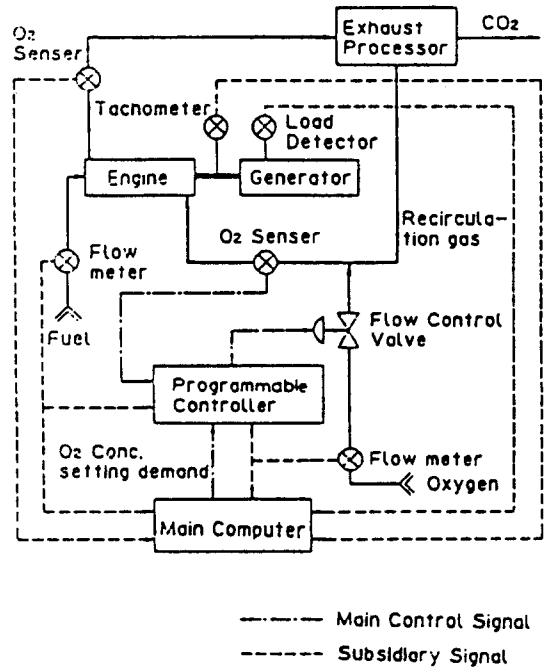


그림 10. 산소제어시스템의 구성도

## 5. 수중디젤 기관의 성능 검토

그림11은 CCDE방식으로서의 연료, 산소, 탄산가스 흡수제등의 장치내에 보유하지 않으면 안되는 소모품의 필요보유량을 추정하여 비교한 것이다.

MEA CCDE는 탄산가스 흡수제로 재생 가능한 MEA를 사용한 경우, KOH CCDE는 비재생방식의 KOH를 사용한 경우 CO<sub>2</sub> CCDE는 탄산가스를 흡수하지 않는 방식의 경우이다. 계산조건은 기관 출력 210kW, 가동수심은

450m이다. MEA-CCDE와 CO<sub>2</sub>-CCDE의 연료소비율은 시험결과를 기초로 산출하였고, KOH-CCDE에는 공기운전과 같은 값이다. 그리고 그림11은 운전시간이 길어지면 MEA-CCDE가 유리한 것으로 표시되고 있다.

MEA-CCDE도 배기에서 분리된 탄산가스를 배출하기 위한 압축기가 필요하고, 그 소요동력은 심도에 비례하여 증대된다. 그러나 MEA-CCDE에는 배출가스에 산소가 혼합되어 CO<sub>2</sub>-CCDE와 다르고, 탄산가스만을 압축하면 좋기때문에 비교적 쉽게 탄산가스가 액화된다. 탄산가스의 3중점(三重占)은 약 5kg/cm<sup>2</sup>-abs에서 탄산가스의 분압이 이보다 높게 되면, 냉각되어 액화된다. 예로서, 수심 450m에 상당하는 46kg/cm<sup>2</sup>-abs 이상까지 압축하면 약 10°C로 탄산가스는 액화된다. 따라서 수분의 동결등은 문제가 되지 않는다. 이와같이 일단 탄산가스를 액화하게 되면, 그 배출동력은 작게되고 심도가 깊어져도 배출일은 증가하지 않는다.

또 액화되면 그 체적은 극히 적어져서 경우에 따라서는 선내에 용기를 갖추어 저장해도

된다. 이러한 경우에는 MEA-CCDE도 심도에 의한 영향을 받지 않고 가동될 수 있다.

## 6. 결 언

앞에서 검토한바와 같이 디젤기관은 수중동력기관으로서 가장 적합한 원동기로서 앞으로 그 활용에 대한 가능성이 확실해 지고 있다. 선진국들은 서둘러서 CCDE개발의 노력을 계속하고 있으며 기술의 봉쇄도 필연적일 것으로 생각된다. 특히 시스템 전체효율을 극대화하기 위해서는 배기재순환 처리시스템 기술의 개발이 시급한 과제로 생각되며 컴퓨터등 주변첨단기기의 발전은 CCDE의 기술개발에 충분히 대응할 수 있다고 밝은 내일을 생각한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 小原敬史, "水中動力用 無及氣 ディーゼル機關", 日本造船學會誌 第722號, 1989年 8月 p.p.508
- [2] 下津 正輝 外 2名, "水中動力用 ディーゼル機關", 船の科學, Vol.43. 1990,2, p.p.49
- [3] 永井將 外 1名, "リサイクルおよび 密閉 サイクル ディーゼル 機關の 研究(第2報)", 日本機械學會論文集(第2部), 44卷 386號(1978.10), p.p. 553.
- [4] A. Fowler, "Closed-Cycle Diesel Engine For Underwater Power", *Trans I. Mar. E(TM)*, Vol. 96, Paper 47. 1984.

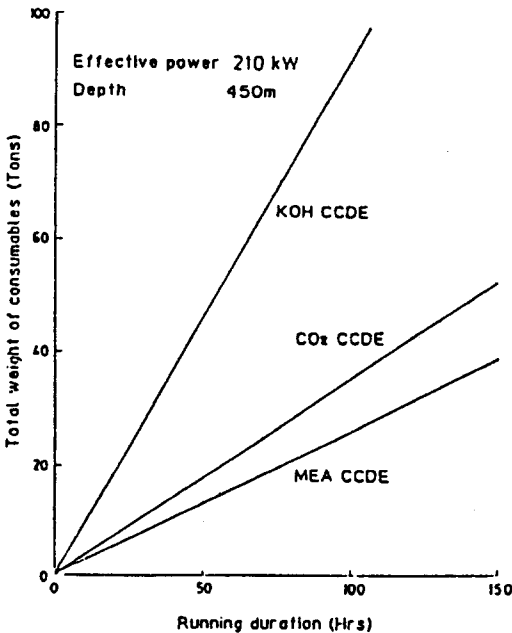


그림 11. 소모품 보유량 비교