

# 차세대 공기압축기의 개발 현황

(주)종합해사 정하돈, 김용직, 김형진  
(한국박용기관학회)

## The Development Situation of Air Compressor for Next Generation

Jonghap Maritime Inc. H. D. Jung, Y. Z. Kim and H. J. Kim

### 1. 서론

기계공업의 자동화와 더불어 선박의 자동화는 날로 급속한 발전을 거듭하고 있다. 이러한 기계 산업의 여러 분야에서는 대량생산 및 원가 절감을 위해서 자동 생산 공정을 채택하고 있으며, 선박에서도 승조원의 감소와 운영 경비의 절감을 위해 자동 제어 방식을 선택하고 있다. 자동 제어 계통에서 많이 사용되는 공기압 제어 방식은 힘의 전달 및 증폭이 용이하며, 구조가 간단하고, 속도, 압력, 유량 등의 제어가 용이하다.

한편, 조선 수주량이 2년 연속 1,000만 GT를 기록하고 있는 국내 대형 조선소에서 수주되는 각종 중요 보조장비들의 국산화율은 점차 높아지고 있는데 반해 이러한 장비중의 하나인 주기관 시동용 공기압축기는 그 중요성에 비해 국산화 보급율이 상당히 낮은 것이 현실이며 특히, 저진동, 저소음, 고효율 공기압축기의 경우 외국의 HATLAPA, SPERRE, HAMWORTHY, J.P SAUER & SOHN, TANABE 등과 같은 메이커들의 국내 시장점유율은 날로 높아져만 가고 있는 실정이다.

선박의 대형화에 발맞추어 선박용 기관이 점차 고성능화 되고 저진동·저소음을 추구하고 있으며 선박엔진의 시동용으로 사용하는 공기압축기 또한 점차 고성능 콤팩트화 되어 가고 있는 현실점에서 저진동·저소음 고효율의 공기압축기에 대한 개발 및 국산화는 전체 수주 선박의 약 15%정도를 점유하고 있는 국산 공기압축기의 국내 시장점유율을 한층 높일 수 있는 계기가 되리라 생각되며 국내 수주 선박의 약 90%정도가 외국인 선주임을 감안한다면 상당히 의미 있는 일이라 할 수 있을 것이다.

따라서, 저진동·저소음 고효율을 가지는 공기압축기의 개발은 조선경기의 상승과 더불어 반드시 선행되어야 할 과제라고 생각되며 이에 따라 당사에서는 현재까지의 개발 기술력을 바탕으로 차세대 공기압축기의 관심사안이라 할 수 있는 저진동·저소음 고효율 및 핵심 부품의 국산화에 대한 개발을 하게 되었다.

## 2. 회사소개

주식회사 종합해사(대표이사 : 유대원)는 선박수리, 선박용 터빈 베어링 재생수리 및 선박 및 육상산업용 공기압축기를 전문적으로 생산하고 있는 업체이며, 지난 1974년 7월에 설립된 이래 (주)종합폴스타(Special Welding), (주)종합기계(Sewage Treatment, Factory Automation System), (주)종합정밀(Piston Crown) 및 (주)종합해사기술 (A/S 및 무역업무) 등을 설립하여 선박용 기자재의 국산화에 이바지 하여왔다.

특히 선박용 공기압축기분야에서는 지난 15년간 국내의 중공업, 중소형 조선소, 해운회사에 4,000대 이상 납품을 한 실적이 있으며, 이를 토대로 선박용 공기압축기의 자체 설계능력을 확보하고 신기술 개발을 위해 1997년 기술전담 부서를 설립하여 생산 및 연구에 박차를 가하고 있으며 2000년에는 부설 연구소의 설립을 추진하고 있다.

개발실적으로는 기술향상을 위해 1984년에 마쯔바라사, 1994년에 다나베사와 기술제휴를 하여 보다 고품질의 제품을 생산하고 있으며, 국산화에도 박차를 가하여 1986년 수냉식 공기압축기를 국산화하였고 1995년 공냉식 공기압축기, 1996년에는 스크류식 공기압축기를 순수 자체 기술로 개발하였다. 아울러, 1997년 무급유 공기압축기를 국산화 개발하였으며, 1998년 첨단기술개발사업을 수행하여 복합재료를 이용한 공기압축기용 벨브플레이트 뿐만 아니라 전량 수입에 의존하고 있던 STEEL 벨브플레이트를 개발하여 검증을 완료한 상황이며 양산중에 있다.

아울러 각종 정부수행 관련 프로젝트에도 다수 참여하고 있으며, 1995년부터는 지속적인 산학연 공동연구를 통하여 기술 및 품질 향상에도 주력하고 있는 한편 자체 품질향상과 생산제품의 보다 엄격한 관리를 위하여 한국선급으로부터 1998년 ISO9000, ISO9001, Q.A SYSTEM을 동시에 인증 받아 설계 및 생산관리 능력도 대외적으로 인정받게 되었다.

## 3. 주요 개발제품 현황

1986년 종합공기압축기를 국산화하여 중소형 조선소 및 선박회사에 납품하였으며 이는 초기 제품으로 주로 소형 상선 및 어선에서 사용 중에 있고 1995년 공냉식 공기압축기를 국산화하여 주로 소형선박 및 대형상선의 Emergency용으로 사용되고 있다.

또한, 1996년에는 육상용 공기압축기의 시장확대를 위해 스크류식 공기압축기를 자체 기술로 독자 개발하여 육상 산업설비분야에 에어시스템의 설비와 함께 납품할 뿐만 아니라 국내 대형 조선소의 건조선박에 Service air compressor로 납품하고 있다.

한편, 무급유 공기압축기는 1997년 중소기업 기술혁신과제를 통해 한국해양대학교와 공동 개발하여 현재 양산화 과정 중에 있으며, 1999년도 중소기업 기술혁신사업에서는 고성능, 고효율, 저진동 수냉식 대형 공기압축기를 부산대학교와 공동연구를 통해 현재 개발 중에 있고 이중 공기압축기의 핵심부품이라 할 수 있는 압축벨브는 전문가 시스템을 이용한 전산 설계프로그램을 동시에 개발 중에 있다.

산학연 공동 기술개발 중 부품의 개발 및 국산화의 주요 결과로서는 우선 재료개발 분야에서 1996년 첨단기술개발과제를 통해 공기압축기용 밸브 플레이트의 소재를 복합재료화 하여 공기압축기의 주요 소음원인 밸브플레이트의 충격소음저감 기술을 구현하였다. 아울러 밸브 플레이트를 복합재료와 함으로써 냉매, 가스압축기의 압축도 가능하므로 육상용 특수 설비 분야로의 적용을 현재 검토중이다. 또한 압축밸브의 밸브 시트 소재인 구상흑연 주철을 이용하여 열처리에 의해 국산화하였고 특히 크랭크샤프트의 경우 대부분 단조강을 이용하던 방식을 열처리를 통해 구상흑연을 이용하여 개발함으로써 원가절감에도 상당한 기여를 하였다.

부품 설계분야로는 기술지도과제를 통해 소형 공냉식 라디에이터를 자체 설계하여 현재 양산중이며, 저진동·저소음을 위한 진동설계 프로그램을 독자적으로 개발하여 현재 다양한 모델에 적용중에 있고 공기압축기의 Inter cooler 및 After cooler의 설계 기법을 국산화 하기 위하여 현재 기술지도를 받고 있는 중이다.

이러한 개발 실적을 바탕으로 현재는 전량 수입에 의존하고 있는 소형 초고압 공기압축기를 국산화하고 있으며 이를 개발할 경우 잠수용, 소방용 및 특수 산업분야에 널리 사용되리라 예상된다.

#### 4. 차세대 공기압축기의 핵심분야

##### 4.1 진동·소음 분야

근래 선박은 더 많은 화물을 적재하기 위하여 선체 자체를 경량화하고 있으며 이로 인해 보다 얇은 강판 및 보강재를 사용하고 있다. 이러한 이유로 박용기기들은 보다 정숙한 운전을 위한 저진동의 요구가 급증하고 있으며, 환경과 인권에 대한 관심이 고조되면서 선실 뿐만 아니라 기관실 등에 대한 소음규제가 엄격해지고 있어 저소음의 필요성이 대두되었다. 더욱이 진동은 기계의 내구성에 영향을 미치고, 피로파손 등의 원인이 되므로 기기의 안전성 측면에서도 매우 중요하다. 이에 차세대 공기압축기는 저진동·저소음을 위한 방진 설계기술이 그 핵심기술로서 대두되고 있다.

특히 공기압축기와 같은 왕복동 기관은 기구학적 특성상 많은 진동이 발생할 수밖에 없는 구조를 하고 있으므로 당사는 이러한 진동을 보다 효과적으로 줄일 수 있는 방법으로 크게 기진원 제어와 진동 전달경로의 제어측면에서 접근하고 있다.

먼저 기진원 제어 측면으로는 왕복동 공기압축기의 주 기진원인 왕복질량에 의한 불평형 관성력 및 불평형 모멘트를 정량적으로 해석하고 이를 제어할 수 있는 최적의 평형추설계 프로그램을 개발하였다. 공기압축기의 대표적인 모델을 선정 후 예측결과와 실험결과를 비교함으로써 개발된 설계프로그램의 신뢰성을 확인할 수 있었고 그 결과를 Fig.1 ~ Fig.4에 보이고 있다. 또한 동흡진기를 이용한 기진원 제어를 연구하여 이를 실험을 통하여 그 유용성을 확인하였으며 이 결과는 Fig.5 ~ Fig.11에 보이고 있다.

다음으로 진동전달 경로제어 측면으로는 탄성지지를 이용한 진동절연을 그 대표적인 예로 들 수 있다. 군함이나 여객선, 해양탐사선 등 특수목적선들은 충격이나 소음에 특히 민감한 요구사항을 갖고 있다. 이들 특수목적선들은 이전까지 주로 터빈기관을 추진용으로 사용하다가 디젤기관을 추진용으로 병행 또는 단독으로 사용하게 되면서 탄성지지를 적용하게 되었으며 그 경향은 각종 보기들에까지 적용하고 있는 추세로 지금은 상선에서도 탄성지지를 기본사양으로 하는 경우가 많다.

이를 위하여 자사는 탄성지지 설계법을 정립하고 탄성지지계의 동특성을 해석하는 전산 프로그램을 개발하였으며, 이를 이용하여 자체 기진력 뿐만 아니라 기관실내의 주기관이나 추진축계에서 발생하는 기진력으로 인한 공진을 피하도록 설계할 수 있으며 공기압축기가 선박에 탑재되기 전에 발생할 진동양상을 미리 예측할 수 있게 되었다.

연구과제로 저소음을 위한 밸브설계법 개발과 충격에 의한 진동예측을 연구하고 있다.

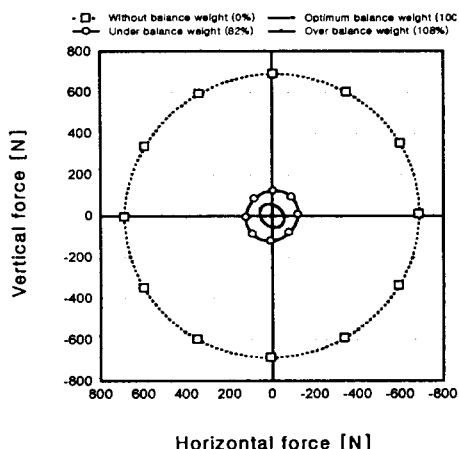


Fig. 1 Residual inertia force for AHV-30

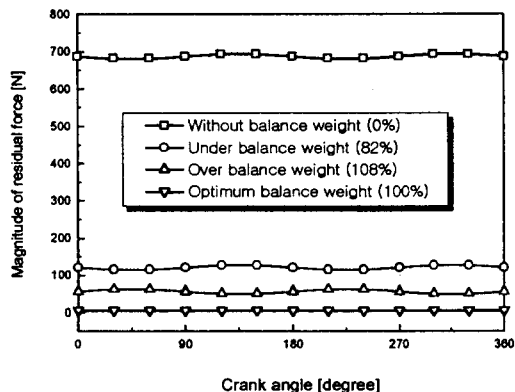


Fig. 2 Residual inertia force on crank angle for AHV-30

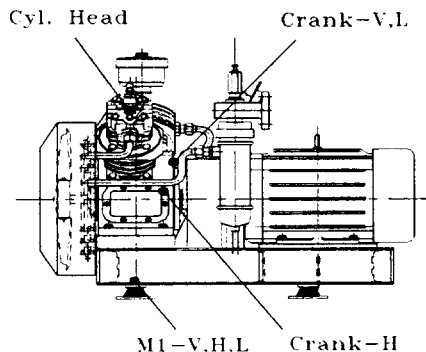


Fig. 3 General arrangement of V-type A/C and measuring position

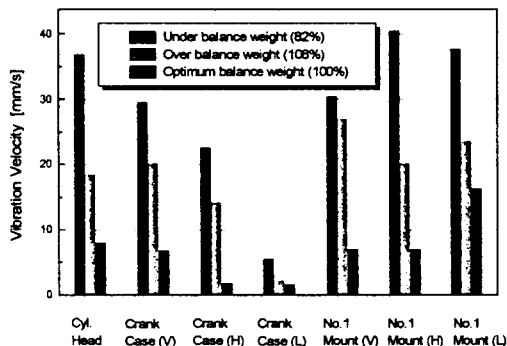


Fig. 4 Vibration velocities on measuring positions

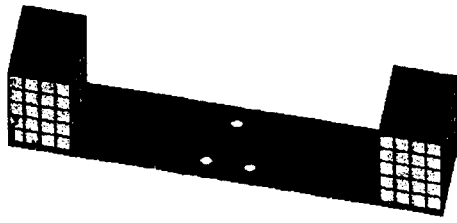


Fig.5 Modeling of dynamic vibration absorber



Fig. 6 Mode shape at 45 Hz

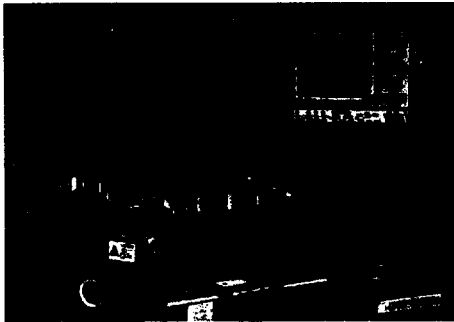


Fig.7 Photograph of testing apparatus

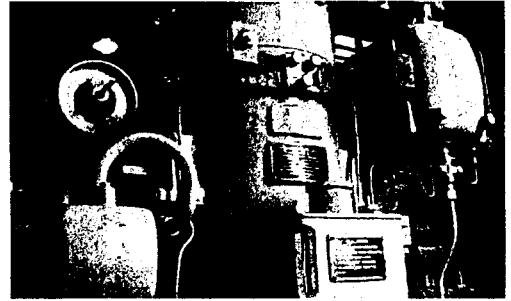


Fig.8 Photograph of test model with dynamic vibration absorber

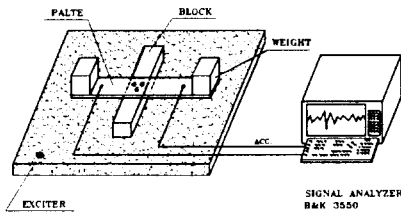


Fig.9 Schematic diagram of testing apparatus

Table 3 Specifications of test equipments

Item	Device name
Signal analyzer	B&K 3550
Excitor	IMV VS-300-2
Accelerometer	B&K 4381
Calibrator	RION VE-10

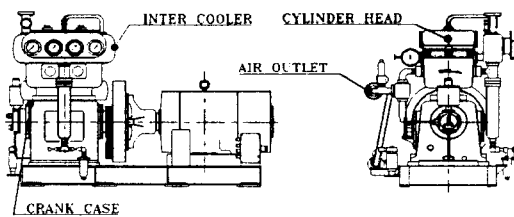


Fig. 10 General arrangement of L-type air compressor and measuring position

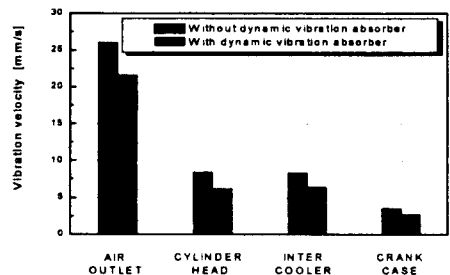


Fig. 11 Vibration velocities on measuring positions

## 4.2 소재개발 분야

### 1) 무급유 공기압축기용 피스톤 링

의료, 전기, 전자, 식품업체 등 다양한 산업분야에서는 청정한 압축공기를 필요로 하고 있다. 그러나, 기존의 왕복동식 공기압축기에서는 윤활유가 주유되는 가운데 고압의 공기를 압축하므로 앞에서 언급한 분야에서의 사용은 곤란한 실정이다. 하지만 자기 윤활 특성을 지니는 피스톤링을 사용할 경우에는 이러한 비용들이 절감될 뿐만 아니라 청정도가 높은 압축공기를 얻을 수가 있으므로 자기윤활 특성을 가지는 복합재료들을 이용하여 개발하고자 하였다.

한편, 근래에 무윤활 및 자기 윤활성 재료로 많은 각광을 받고있는 PTFE와 폴리이미드(Polyimide)에 의한 복합재료는 내부식성, 고강도 및 저 마찰계수의 특징을 가지고 있으며, 사용 조건에서 가장 중요하게 생각되는 온도가 PTFE의 경우 용점이 327℃로 높고 폴리이미드는 연속사용온도가 300℃, 최대 순간 사용온도는 482℃까지이므로 공기압축기용 무윤활 피스톤링으로서 그 사용가치가 충분하다고 생각된다. 그러나, PTFE는 마찰계수가 상당히 낮은 반면 강도가 낮아서 바로 사용하기가 곤란하며 폴리이미드의 경우에는 복합재료 중에서 비교적 높은 강도를 나타내나 소재의 원가가 상당히 고가여서 상업성을 가지기 어려우므로 본 연구에서는 이러한 복합재료와 함께 금속재료인 동(copper), 산동(oxide copper)을 적절한 비율로 충전하여 경계성을 가짐과 동시에 양호한 마찰마모특성을 만족시키는 재료를 찾기 위하여 복합재료를 이용하여 무급유 공기압축기용 피스톤링을 개발하고자 하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 무급유 공기압축기의 피스톤링으로서 가장 적합하다고 생각되는 재료의 충전율은 PTFE80%-PI20%를 기본으로 하는 재료에 동을 30% 첨가한 재료가 각각의 속도영역에서 가장 낮은 비마모량을 나타냄을 알 수 있었으며 이를 통해 현재 시제품의 검증이 완료된 상태이고 생산화를 위한 준비중이다.

### 2) STEEL 밸브 플레이트

공기 압축기에서 가장 많이 사용되는 방식은 왕복동식이며, 왕복동 공기 압축기의 부품 중에서도 압축효율에 가장 큰 영향을 미치는 압축 밸브는 크게 밸브 플레이트, 밸브 시트, 밸브 스프링 등으로 구성되어 있다. 이러한 구성품 중 흡입·토출밸브 플레이트는 고온·고압 상태에서 계속적으로 반복 운전되므로 개폐가 신속해야 하며, 피스톤의 운동에 뒤지지 않고 닫힐 때의 충격도 적어야 할 뿐만 아니라 밸브 시트를 손상·마모시키지 않고 기밀성이 좋으며 강인하고 가벼워야 한다. 따라서 반복 운전시 흡입·토출 밸브의 개폐 기능에 있어서 변형이 없어야 하고, 또한 파손되어서도 안되는 소재로 만들어져야 한다.

한편, 현재 국내에서 사용되는 수입 밸브 플레이트의 강종은 스테인레스강판(SUS304,

SUS420J1, SUS410), 니켈크롬몰리브덴강판(SNCM625)등이기 때문에 일부 강종은 대량주문 방식을 요구하는 한편 밸브플레이트에 필요한 다양한 종류의 두께가 생산되지 않으므로 생산에 상당한 어려움이 따르며, 열처리 사이클 및 공정이 상당히 복잡하게 되어 생산효율의 저하를 일으키게 된다.

따라서 본 연구에서는 앞에서 언급한 강종들과 유사한 기계적 성질을 가지며 비교적 자재수급이 용이하도록 포철에서 생산중인 스테인레스강판(SUS420J2)을 이용하여 개발하였다.

그 결과 인장강도, 경도 등과 같은 기계적 성질에서는 수입품을 능가하였으며, 공기압축기용 밸브플레이트의 가장 큰 문제점인 피로충격에 대한 검증을 위하여 당사 시운전실과 실제 상선에서 동일한 모델의 수입품을 동시에 운전하여 수입품에 비해 내구성 또한 우수함을 확인하여 이를 양산화 하기 위한 작업이 진행중이다.

## 5. 결론

선박엔진의 시동용 및 서비스용으로 사용하는 차세대 공기압축기의 관심 사안에 대하여 당사는 저진동·저소음 및 핵심부품의 국산화 개발에 중점을 두어 연구를 수행하고 있으며 이를 통해 수요자의 다양한 욕구를 만족시키고자 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

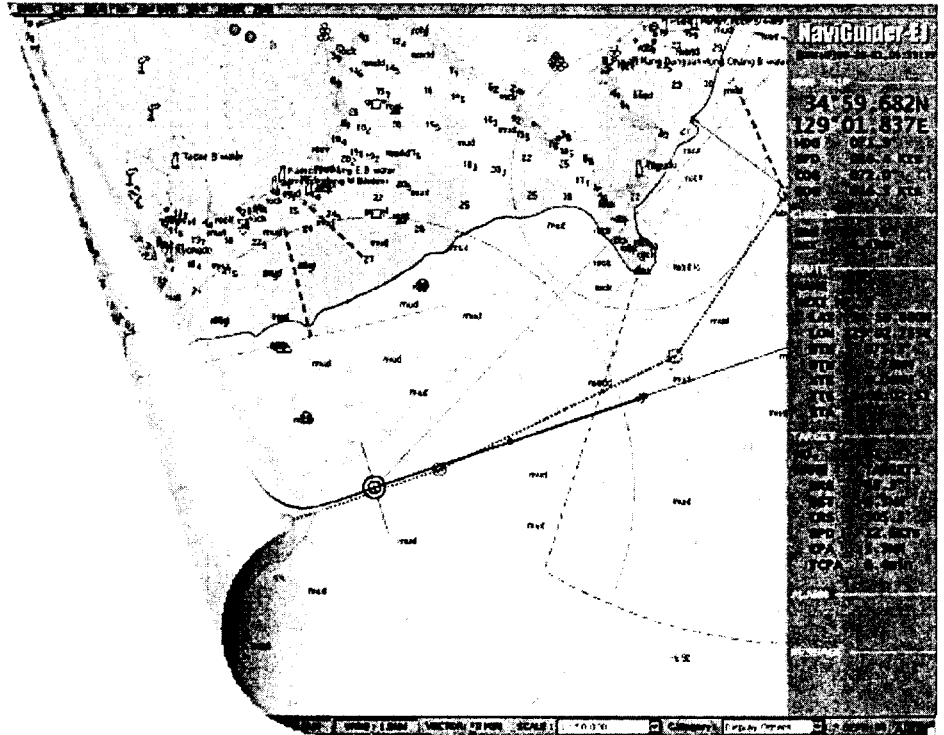
진동·소음 분야에서는 기진원 제거와 진동전달 경로제어의 두가지로 연구를 수행하였으며 기진원 제거분야에서는 왕복동 공기압축기의 주요 기진원인 불평형 관성력과 모멘트를 정량적으로 해석할 수 있는 평형추 설계 프로그램을 개발하였으며 실험을 통하여 신뢰성을 확인할 수 있었다. 아울러 동흡진기를 이용하여 기진원 제어를 하고자 하였으며 실험결과 유용성을 확인 할 수 있었다.

다음으로 진동전달 경로제어에서는 탄성지지 설계법을 정립하고 탄성지지계의 동특성을 해석하는 전산프로그램을 개발하였으며, 이를 이용하여 자체 기진력 뿐만 아니라 기관실내의 주기관이나 추진축계에서 발생하는 기진력으로 인한 공진을 피하도록 설계할 수 있으며 공기압축기가 선박에 탑재되기 전에 발생할 진동양상을 미리 예측할 수 있게 되었다.

소재 개발분야에서는 특수 용도용 공기압축기의 개발과 핵심부품 소재의 국산화로 연구를 수행하였으며 무급유 공기압축기 개발에서는 자기 윤활 특성을 가지는 복합재료를 이용하여 피스톤링을 제조하였으며 무급유 공기압축기의 피스톤링으로서 가장 적합하다고 생각되는 재료의 충진율은 PTFE80%-PI20%를 기본으로 하는 재료에 동을 30% 첨가한 재료가 각각의 속도영역에서 가장 낮은 비마모량을 나타냄을 알 수 있었다.

소재 국산화 분야에서는 전량 수입에 의존하던 밸브 플레이트를 자재수급이 용이한 스테인레스강판(SUS420J2)을 이용하여 개발하였으며 피로충격에 대한 검증을 위하여 당사 시운전실과 실제 상선에서 동일한 모델의 수입품을 동시에 운전하여 수입품에 비해 내구성 또한 우수함을 확인하였다.

# Electronic Chart Display & Information System



 **DAEYANG**  
ELECTRIC CO., LTD.



## Doppler – LOG SPECIFICATIONS

- |             |                       |                      |
|-------------|-----------------------|----------------------|
| 1. 속력 측정 방식 | -----                 | Single Axis (2 Beam) |
| 2. 동작 수심    | -----                 | 선저로부터 1.8m 이상        |
| 3. 속력 측정 범위 | -----                 | 대수속력 0 ~ ±39.9 Knots |
| 4. 항해거리 표시  | -----                 | XXXX.XX nm           |
| 5. 송신 주파수   | -----                 | 2 MHz                |
| 6. 경보 제공    | -----                 | 입력전원 오류              |
| 7. 연동신호     |                       |                      |
| 가.          | 200, 400, 2000 ppm    |                      |
| 나.          | RS232/RS422 직렬통신      |                      |
| 8. 온도 범위    |                       |                      |
| 가. 동작       | -----                 | 0°C ~ +50°C          |
| 나. 저장       | -----                 | -30°C ~ +70°C        |
| 9. 공급전원     |                       |                      |
| 가.          | 110VAC 또는 220VAC ±10% |                      |
| 나.          | DC24V ±10%            |                      |

## ECHO – SOUNDER SPECIFICATIONS

<b>1. 수심 측정 범위</b>		
MODE1	-----	2 ~ 20 m
MODE2	-----	2 ~ 100 m
MODE3	-----	2 ~ 255 m
MODE4	-----	2 ~ 450 m
<b>2. 음파 송신 주기</b>		
MODE1	-----	133 pulse / min
MODE2	-----	133 pulse / min
MODE3	-----	133 pulse / min
MODE4	-----	66 pulse / min
<b>3. CHART SPEED</b>	-----	5 ~ 25 mm/min.
<b>4. 송신 주파수</b>	-----	200KHz
<b>5. 송신 출력</b>	-----	10% ~ 100%
<b>6. 경보 제공</b>	-----	Normal Close접점
<b>7. 연동신호</b>	-----	RS232/RS422
<b>8. 숫자 표시기(7-segment)</b>		
가. 수심측정 단위		
1) 2 ~ 9.9m	:	X.Xm
2) 10 ~ 99.9m	:	XX.Xm
2) 100 ~ 450m	:	XXXm
<b>9. 온도 범위</b>		
가. 동작	-----	0°C ~ +50°C
나. 저장	-----	-30°C ~ +70°C
<b>10. 공급전원</b>	-----	110VAC & 220VAC ±10%

## Electro Magnetic – LOG SPECIFICATIONS

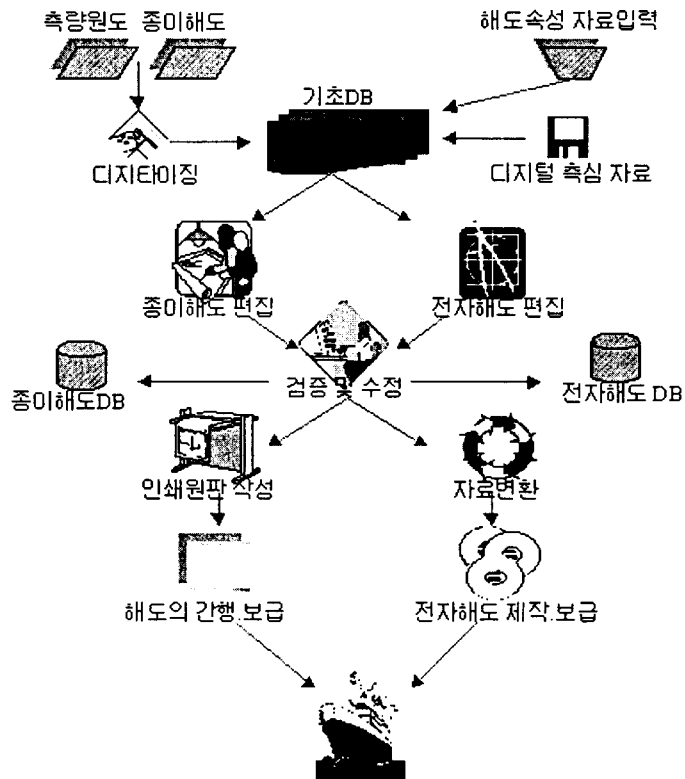
1. **속력 측정 범위** ----- 대수속력 0 ~ ±39.9 Knots
  
2. **항해거리 표시** ----- XXXX.XX nm
  
3. **센서출력 특성** ----- 260uV/Knot
  
4. **연동신호**  
가. 200, 400, 2000 ppm  
나. RS232/RS422 직렬통신
  
5. **온도 범위**  
가. 동작 ----- 0°C ~ +50°C  
나. 저장 ----- -30°C ~ +70°C
  
6. **공급전원** ----- 110VAC 또는 220VAC 60Hz ±10%

# ECDIS

## ENC 개요

전자해도(ENC:Electronic Navigational Chart)란 종이해도상에 나타나는 해안선, 등심선, 수항로표지(등대, 등부표), 위험물, 항로 등 선박의 항해와 관련된 모든 해도정보를 국제수로(IHO)의 표준규격(S-57)에 따라 제작된 디지털해도를 말한다.( 각국 수로국에서 제작 )

전자해도의 제작과정



## ECDIS 개요

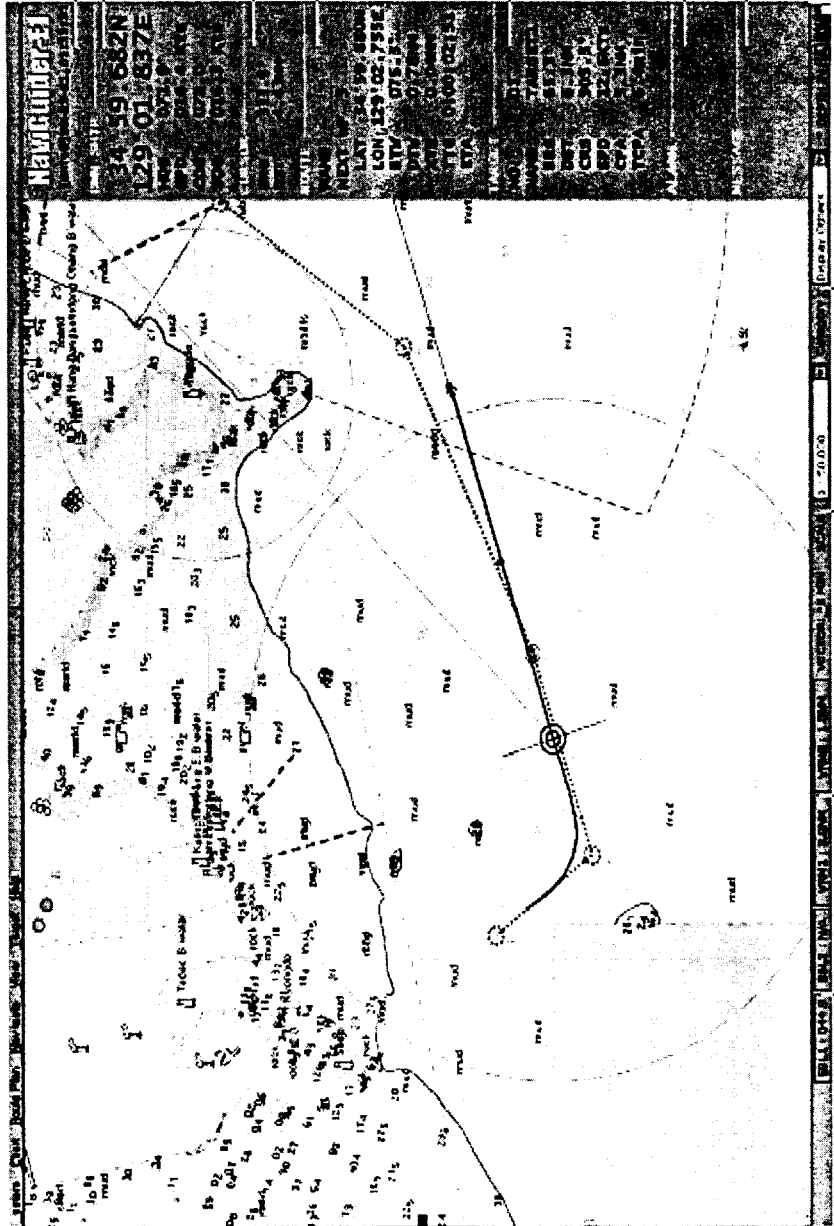
ECDIS 란 ENC 데이터를 이용하여 모니터상에서 전자해도 및 자선의 위치를 실시간으로 전시하고 종이해도상에서 이루어지는 작업을 컴퓨터를 이용한 작업으로 대체함으로써 항해사의 작업경감, 신속한 항해 계획 수립, 안전한 항해등을 지원하기 위한 시스템.

## 사양 및 기능

<b>Display Unit</b>	CRT : 20-inch color monitor Resolution : 1280 X 1024
<b>Functions</b>	항해정보 : 시간 및 날짜, 자선의 위치, 선수 항해계획정보 : 항로명, 목적 변침점, BTW, DTW, XTE, TTG, ETA 레이다정보 : 타겟번호, 타겟이름, 방위, 거리, CPA, TCPA 알람정보
<b>Features</b>	IMO's ECDIS Performance Standard 에 만족한다. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Route Planning</li> <li>- Route Monitoring</li> <li>- Chart 정보 갱신</li> <li>- ARPA information</li> <li>- AutoPilot</li> </ul>

# Sample Display

1. ECDIS 화면 1



현재 일시  
자신의 위도, 경도  
선수, 선속

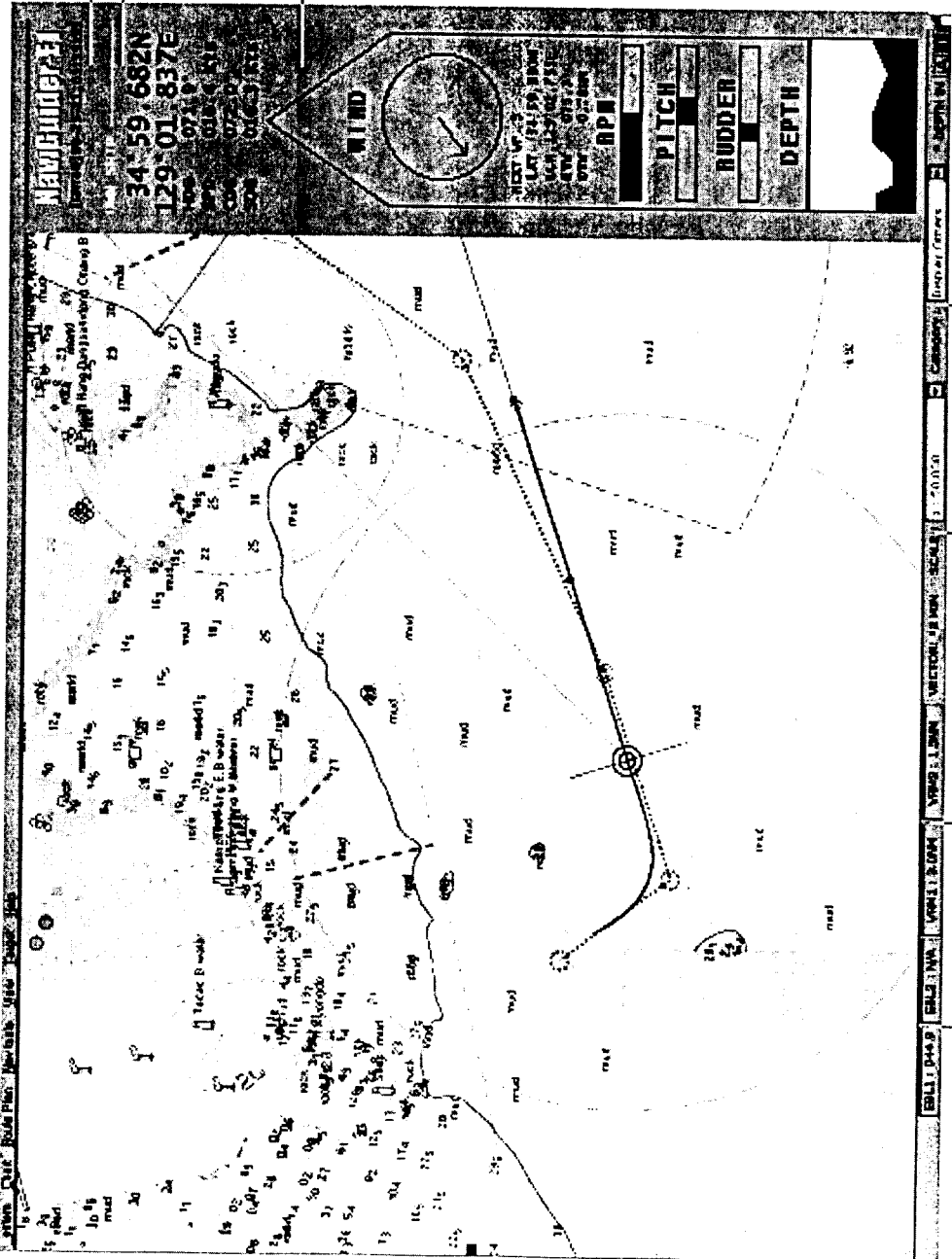
자신의 위치에서  
Cursor의 방위 및 거리  
함께 계획된 점 정보  
다음 번 클릭 점 정보

타겟 정보

정보 정보

메서지 정보

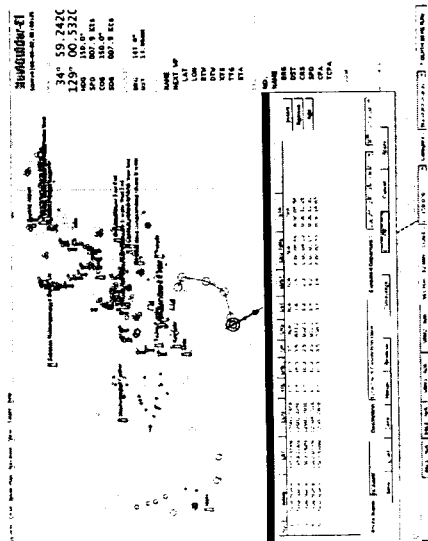
1. ECDIS 화면 2



현재 일시  
자선의 위도, 경도  
선수, 선속

풍향 풍속  
RPM  
PITCH  
RUDDER  
DEPTH  
NEXT WP정보

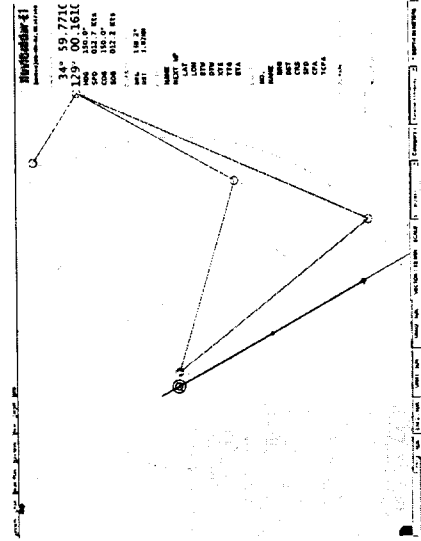
EBL정보    VRM정보    Chart의 Scale    Chart Display 범위



Route Planning Model



Route planning Mode2



Route Monitoring Mode



ARPA 정보