

2. 특집기사

전기추진선박의 추진체계 발전방향

The Trend of Development on Propulsion System of Electric Propulsion Ship



공 영 경

Yeong-Kyung Kong

- 1956년 5월생
- 1994년 2월 한국해양대학교 공학박사
- 현재 국방과학연구소 책임연구원

1. 현 황

선박은 크게 수상함과 잠수함으로 분류할 수 있다. 추진체계로 보면 터빈, 축전지 및 기관을 원동력으로 하여 직결시키거나 감속기를 통하여 추진하는 전기식 기계식 추진 체계와 추진전동기를 통하여 추진하는 추진체계로 분류할 수 있다. 기계식 추진체계는 대부분의 수상함정과 원자력 잠수함에서 그 동안 주로 채택 운용되어져 오고 있고, 재래식 잠수함을 중심으로 전기식 추진체계가 운용되고 있다. 최근에 이르러서는 소음수준 저하요구와 전자기술의 발전이 어우러져 기존 기계식 추진체계를 전기식으로 변환시키려는 움직임이 나타나고 있다. 그 동안 대용량화와 크기상의 문제로 적용상 곤란했던 부분이 영구자석 이용과 초전도를 이용함으로써 충분히 적용 가능한 수준까지 가능하다는 판단 하에 기술개발에 박차를 가하고 있다.

수상함의 경우에는 기존 기계식 구성체계에서 전기식 추진체계를 구성하기 위해서는 전력계통 구성개념형성부터 필요할 것으로 판단되고, 잠수함의 경우에는 기존재래식 잠수함의 전기식 추진체계를 기본으로 활용하면 될 것으로 판단된다. 그러나 새로운 형태의 통합망 구성 및 자동화 측면

에서의 구성은 별도로 추가 연구가 필요한 것으로 보인다. 본 내용에서는 최근에 수상함을 비롯하여 원자력 잠수함까지 전기식 추진체계로 변환되는 추세에 맞추어 전기식 추진체계에 대한 연구현황 및 발전방향에 대해 알아보려고 한다.

2. 전력계통 구성

1997년 영국 국방성은 전기추진선박을 차세대 함정인 미래형 호위함 및 전투함, 미래형 항모와 미래형 공격잠수함에 적용건조하게 될 것이라고 공표하였다. 전기추진선박은 궁극적으로는 연료전지를 추진원으로 하여 영구자석 전동기를 이용 추진하게 될 것이라고 덧붙였다. 이렇게 됨으로써 효율을 높이고, 오염물질을 저감시켜 환경규제에 적합하고, 감속기를 배제시켜 부피와 무게는 물론이고 소음까지 감소시키는 효과가 있다고 발표하였다.

설계연구 대상함으로 4700톤급 프리깃함을 선정하여 여러 가지 대안연구를 실시하였다. 그림 1, 2, 3은 단기적으로 실행 가능한 전기식과 장기적으로 달성 가능한 전기식 추진에 대한 전력 계통도를 보여주고 있다. 궁극적인 전기식의 전력 계통

구성은 연료전지를 기반으로 한 직류전력계통 구성이다. 이를 토대로 영국에서는 type 45함정에 4160V교류전압을 추진전동기에 인가되며, 함내서비스전압은 440V AC 또는 800V DC 전압이 인가되는 구조이다. 그림3은 type 45의 추진시스템 계통도이다.

표 1 설계연구 대상함.

파라메타	성능
길이	131.5m
흘수	4.7m
톤수	4700톤
함수명	25년
승조원	125명
추진 전력	28MW
최대속도	28노트/170rpm
항속거리	6000n.m/18kts
전력소요 부두	750kW
전력소요 항해	1730kW

표 2 설계대안.

구분	원동기	발전기	추진전압	보조전압	축	전동기
1	1TAG 22MW 2D5.5MW	직결동기기 직결동기기	6.6kV, 60Hz	440V, 60Hz	O	2×14MW PM radial
3	2TAG 5.5MW	직결동기기			X	2×12MW PM radial
2a	1TAG 22MW 2D5.5MW	영구자석 직결동기기 직결유도기	5.5kV DC	750V DC	X	2×12MW PM Rad. Pod
2b	1TAG 22MW 2D5.5MW	X				
4a	6×FC 5.5MW	X	6.6kV, 60Hz	440V, 60Hz	O	2×14MW PM Axial/ Trans
4b			5.5kV DC	750V DC		

※ TAG : 가스터빈

D : 디젤기관

PM : 영구자석

FC : 연료전지

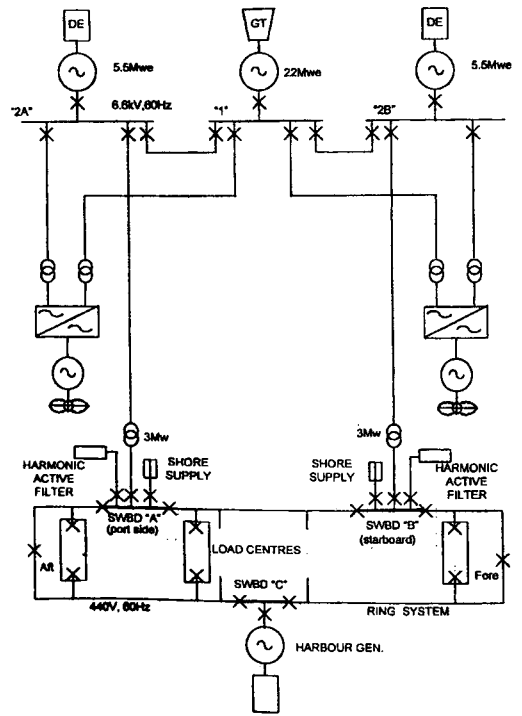


그림 1. 6.6 kV AC 전력계통도.

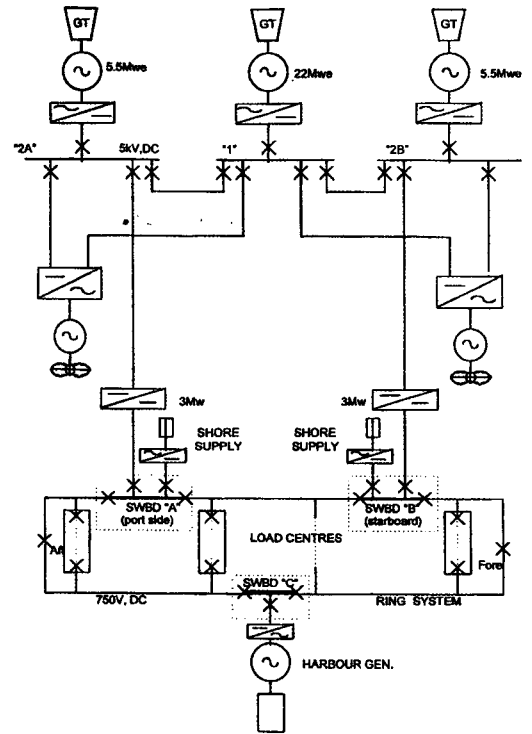


그림 2. 5kV DC 전력계통도.

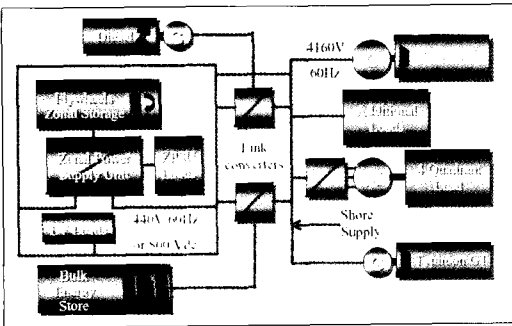
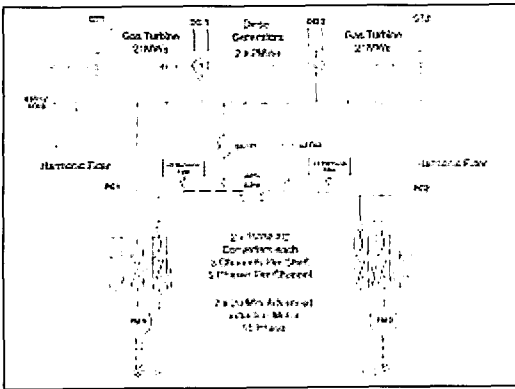


그림 3. Type 45 추진시스템 계통도.

그림 4는 2대의 터빈발전기로부터 추진용 전력과 함내서비스 전력을 공급하며, 2대 이상의 분리된 전력 변환기로부터 전원을 공급함으로써 안정성을 증가시켰다.

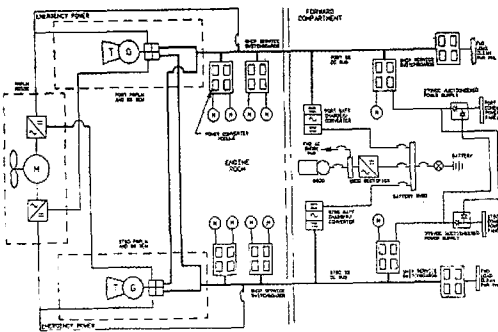


그림 4. 잠수함 DC 전력 계통 시스템.

이러한 발전추세에 따라 미국은 차세대 함정인 DD-21 구축함과 virginia class 210 잠수함을 전기식 추진으로 설계 건조예정에 있다.

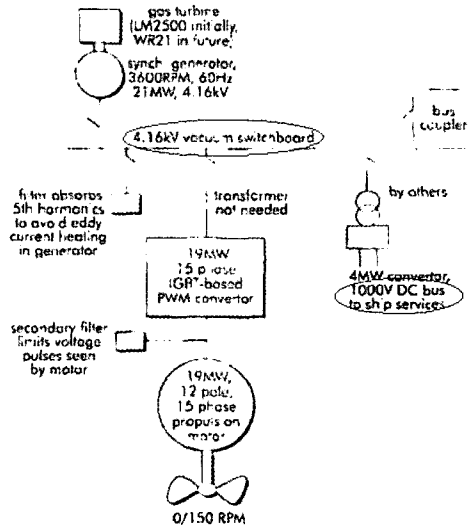


그림 5. DD-21 전력계통도.

3. 함정용 추진전동기 발전추세

주추진용으로 사용되는 함정용 전동기는 재래식 잠수함을 중심으로 그 동안 사용되어져 왔다. 표 3은 잠수함용으로 현재 사용되고 있는 주추진용 직류전동기를 나타내고 있다.

표 3 잠수함용 직류전동기.

출력 (kW)	회전수 (rpm)	중량 (톤)	길이 (m)	에너지밀도		제작 년도
				kg/kW	l/kW	
1100	170	16.6	3.5	15.1	22.7	1960
1320	290	18.1	3.5	13.1	18.9	1975
3700	200	43.5	4.7	11.8	17.2	1969
4500	200	50.3	4.7	11.2	14.3	1982/3
6600	200	76	6.0	11.5	11.4	1980/1
7400	200	82	6.3	11.1	10.6	-

1980년대부터 발전되기 시작한 전력전자에 힘입어서 기존 직류전동기보다 성능 및 크기 면에서 우수한 영구자석 동기전동기가 개발되어 잠수함의 주추진전동기로 상용되고 있다.

영구자석 추진전동기는 기존 직류전동기와 비교하여 성능 및 크기 면에서 월등히 우수하다. 그림 6은 크기를 비교해 보이고 있다.

표 4 잠수함용 영구자석 전동기.

출력 (kW)	회전수 (rpm)	적용함	중량	크기
3200	150	Scorpene	40(4)	3150(D)×1820(L) (1700(H)×3700(W) ×1600(D))
3900	150	Type 214	54	2500(D)×2310(W)

() 는 큐비클 크기임

현재 미국이 주도적으로 수상함 및 잠수함용으로 2010년까지 33,500마력급의 초전도 전동기 개발을 목표로 현재수준은 5,000마력급의 전동기를 개발 실험 중에 있다. 목표된 수준까지 개발이 완료되면 기존 전동기에 비해 1/5 및 1/3수준으로의 소형 경량화 실현이 가능할 것으로 예측되고 있다. 그림 7, 8은 개발 중인 초전도 전동기 그림이다.

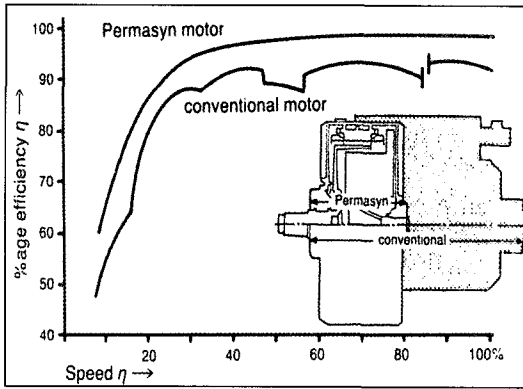
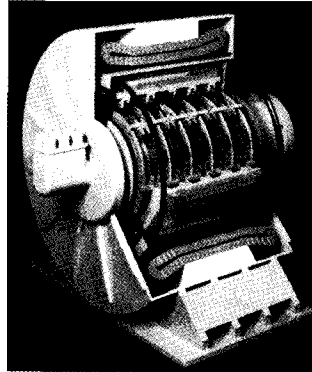


그림 6. 직류기와 동기기 크기비교.



Full-Scale (25MW) Concept Size
Motor: OD = 2.65 m Length = 2.08 m
Cryo-Cooler: <1.0 m³

그림 8. 고온 초전도 전동기.

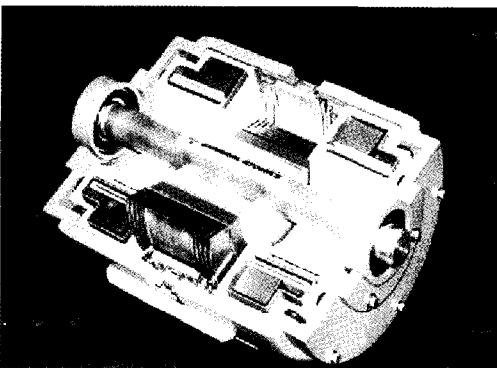
초전도 전동기는 최근에 초전도 선재 기술과 상업화가 가능한 저온화 기술의 발전으로 점점 가시화 되고 있다. 초전도 전동기는 용량이 크면 클수록 다른 전동기와 비교하여 소형경량화의 장점이 더 크다.

4. 적용사례

4.1 수상함 pod 추진장치

영구자석 전동기 기술을 바탕으로 Siemens사에서는 수상함 전기추진시스템인 SSP propulsor를 추진기와 추진전동기, 전력변환장치 및 steering gear등이 하나로 통합된 시스템을 개발하였다. Pod 형태의 SSP propulsor는 기종에 따라 5MW에서 20MW의 출력을 가진다.

이 추진시스템의 장점은 최적 외형설계를 통해 기존의 pod 형태의 추진시스템에 비해서 10%의 효율증가를 가질 수 있고, 추가적인 냉각시스템이 필요하지 않다. 또한 pod 형태가 가지는 특징인 공간활용 측면에서의 우수성과 추진기에서 발생하는 진동 및 소음이 함내부로 전달되지 않아 주로 상업적 여객선의 추진시스템으로 적합하다. 그림 9, 10은 각각 SSP의 구조도, 치수도 및 실제 사진이다.



Full-Scale (25MW) Concept Size
Motor: OD = 2.65m, Length = 3.05m
Cryo-Cooler: <1.4 m³

그림 7. 저온 초전도 단극전동기.

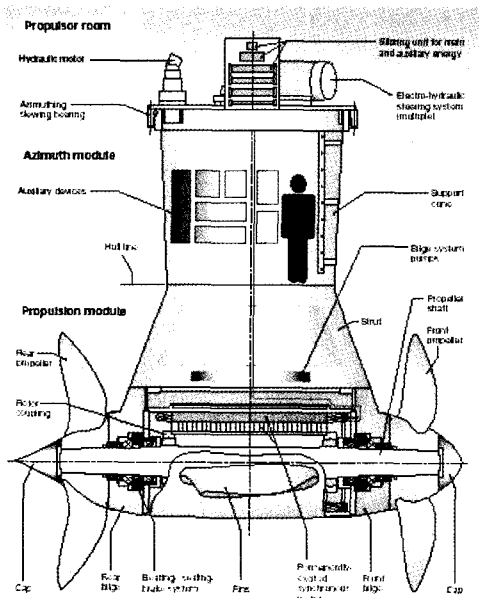


그림 9. SSP구조도.

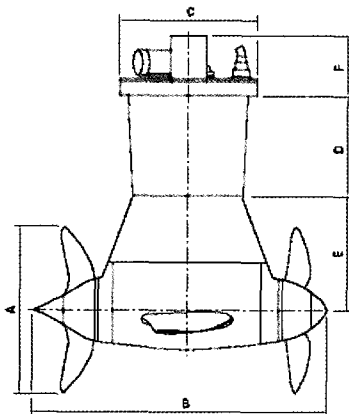


그림 10. SSP치수도.

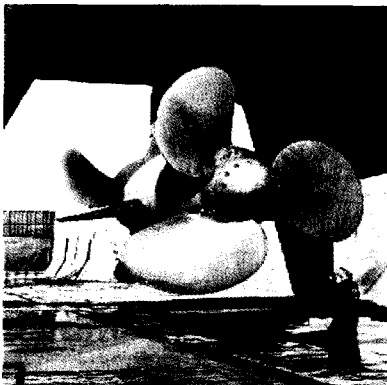


그림 11. SSP 실제도.

또한, 표 5는 용량별 설계치수를 보여주고 있다.

표 5 SSP 용량별 설계치수.

	Unit	SSP 5	SSP 7	SSP 10	SSP 14	SSP 18	SSP 20
Propeller power	Pp (kW)	5000	7000	10,000	14,000	18,000	20,000
Propeller speed	np (rpm)	190	170	160	150	145	130
Propeller torque	Mp (kNm)	251	393	597	891	1185	1469
Azimuth speed	na (rpm)	2	2	2	2	2	2
Weight (twin version)	mssp (t)	95	125	170	230	280	310
A = Propeller diameter	(mm)	3750	4250	4750	5250	5800	6250
B = Length propulsion module	(mm)	6625	7500	8380	9260	10,590	11,000
C = Mounting flange diameter	(mm)	3000	3500	3800	4200	4800	5000
D = Height support cone	(mm)	2100-2750		(standard height 2500)			
E = Height propulsion module*	(mm)	2100	2975	3325	3675	4000	4375
F = Installation height propulsion	(mm)	1630	1675	1720	1760	1800	61850

그림 12는 스웨덴 ABB사가 제작한 14MW, 250rpm급의 pod 장치를 보여주고 있다.

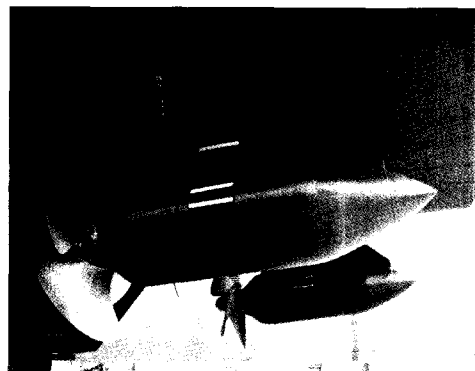


그림 12. ABB사 pod 장치도.

4.2 잠수함 추진장치

프랑스 Jeumont사에서서는 잠수함용 추진전동기로 Magtronic이 개발되어 적용되고 있으며, 칠레에 수출된 잠수함에 3.2MW급 Magtronic을 탑재하였다. 본 전동기 개발을 1985년부터 연구를 시작하여 1989-1992년에 25상 400kW, 500rpm 전동기 개발, 1992-1998년의 13상 1800kW 전동기의 시험을 거쳐 1999-2002년에 탑재용 3.2MW급 전동기를 제작 완료하였다.

본 전동기의 특징은 표 6에 나타나 있으며 실제 사진은 그림 13, 14에 보여지고 있다.

표 6 Magtronic 전동기 특성.

항목	Chille
Power[MW]	3.2
최대속도[rpm]	160
최적속도[rpm]	15
Type	영구자석 동기전동기
기준입력전압[VDC]	576
Protection Class	
영구자석	Samarium-Cobalt
상수	2×13
길이 [mm]	1820
직경 [mm]	3150
무게[ton]	40 이하
인버터 cubicle [ton]	4

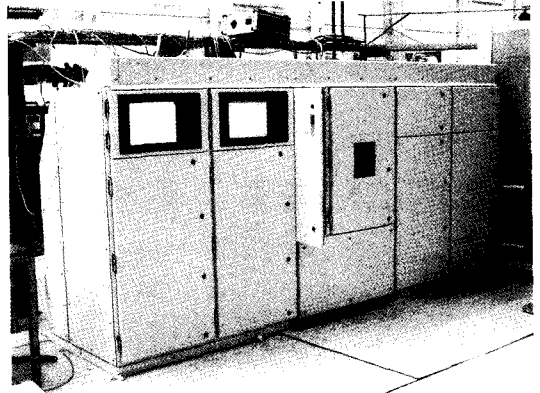


그림 14. 전원공급장치.

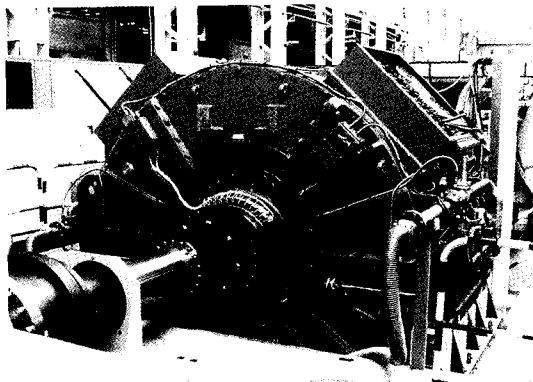


그림 13. 탑재 전동기 모습.

5. 발전전망

앞에서 본바와 같이 지금까지 수상함의 경우에는 디젤기관을 비롯한 각종기관을 주기관으로 하여 직결식 또는 감속기를 사용한 기계식이 대부분의 수상함 추진체계에 적용되어 왔다. 또한 잠수함도 원자력 잠수함의 경우 감속기를 사용하는 기계식 추진체계를 사용하여 온 것이 대부분이다. 그러나 1980년대부터 급격한 발전을 해오고 있는 전력전자 및 영구자석분야의 기술을 토대로 하여 영구자석 전동기를 기반으로 하여 모든 함정에 추진전동기를 채택 적용하는 전기식 추진체제로 발전될 전망이다. 궁극적으로는 미국이 주도하고 있는 초전도전동기가 현실화 되면 더욱더 전기식 추진체계는 탄력을 받을 것으로 보인다.



그림 15. DD-21 전동기 개발현황.

미국은 21세기 초에 건조예정인 DD-21구축함과 Virginia class 원자력 잠수함을 전기식으로 결정 관련기술들을 확보 중에 있다.

그림 15는 DD-21 적용을 위한 초전도전동기 개발 현황을 보여주고 있다.

수상함의 경우도 유럽의 type45 프리깃함을 비롯한 차세대 함정을 포함하여 여객선, LNG 운반선 등 모든 선박들에 대해 확대 적용이 예상된다. 그림 16, 17은 pod 전기 장치와 기존 디젤 직결식 기계식 장치를 보여주고 있다.

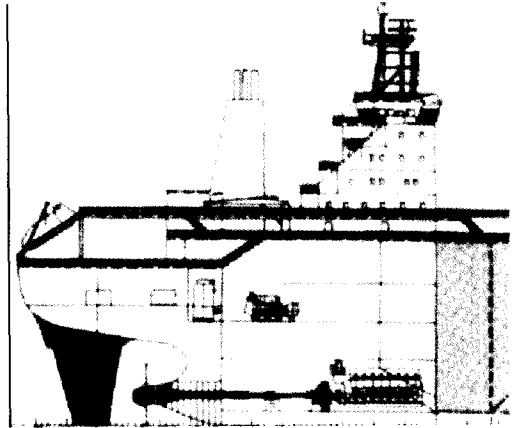


그림 17. 기계추진.

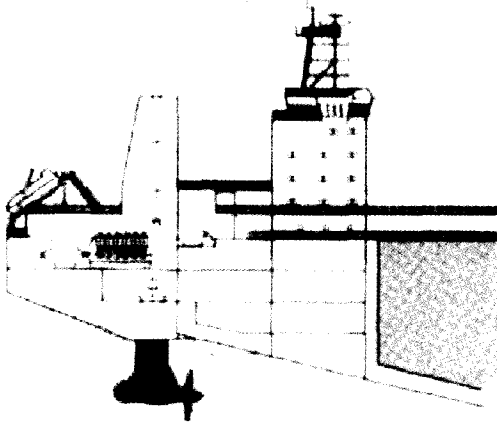


그림 16. pod 전기장치.

참고문헌

- [1] 이수형, "함정의 복합 추진체계 연구", 전발단 전투발전연구, 제 7호, pp211-241, 2000
- [2] "Modern Propulsion Systems for Naval Vessels", Naval Forces, 4/1999
- [3] Dieter Weigel, "NATO Study on An All Electric Warship", Naval Forces, 5/1999