



심해 무인잠수정, 해미래와 해누비의 전원, 전기 및 통신 시스템 설계

■ 최현택, 전봉환, 이판목 / 한국해양연구원 해양시스템안전연구소
 ■ 정봉출, 구범모, 박철수, 한상철 / 대양전기(주) 기술연구소

1. 서 론

지구 표면의 약 71%인 바다는 인간에 매우 친숙한 환경이지만, 바다 속 특히 심해는 거의 탐사가 되지 않은 지역이다. 최근 이 미개척지에 관심이 집중되고 있다. 인류가 가지고 있는 식량, 자원, 에너지 등 여러 가지 문제의 해법을 찾을 수 있을 것이라는 막연한 기대가 작은 결과로 가시화되고 있기 때문이다. 그동안 심해에 대한 연구와 투자를 꾸준히 지속해온 외국에 비해 우리나라는 3면이 바다인 여건에도 불구하고 심해 연구는 초기 단계에 머물러 있다. 이는 이 연구 분야의 특성상 막대한 연구비가 투입되어야 하고, 연구 결과가 사용화 될 때 까지 많은 시간이 걸리며, 자칫 경제성이 없을 수도 있는 큰 위험이 있기 때문이었다고 생각된다. 또한 공학과 이학의 거의 모든 분야에 걸친 첨단 기술이 함께 뒷받침되어야 한다는 어려움이 있다. 그러나 최근 심해저 망간단괴, 열수광상, 심해생물, 해저 메탄수화물 등 심해 연구의 구체적인 목적과 발전 가능성이 알려지면서 국내에서도 심해 탐사와 연구가 가속화될 전망이다.

무엇보다도 심해 연구를 위해서는 다양한 첨단 탐사 장비와 지원 장비가 필요하다. 일반적인 탐사 방법으로 모선이 케이블에 연결된 탐사 장비를 수중에서 견인하는 방식과 유/무인 잠수정을 이용한 직접 탐사 방식이 있다. 수중 견인방식은 탐사 범위가 넓고 상대적

으로 탐사 비용이 저렴하다는 장점이 있지만, 관찰 목표지점으로부터 멀리 떨어진 곳에서 관측을 하기 때문에 탐사의 정밀도를 향상시키기 어려운 단점이 있다. 따라서 초기 탐사 후에는 탐사 지역에 직접 투입이 하는 탐사 장비가 반드시 필요하다. 특히 여러 가지 위험 요소와 자유로운 탐사에 제한이 따르는 유인 잠수정 보다는 무인 잠수정이 필수적인 요소가 되었다. 즉, 가장 기본 장비인 심해 무인잠수정이 없으면 본격적인 심해 연구를 수행할 수 없다고 생각할 수 있다. 보다 정확하게 표현하면 심해 무인잠수정을 포함한 심해 탐사 및 개발 장비 기술이 없이는 독자적인 심해 연구는 수행 할 수가 없다.

경제성을 이유로 하여 연구 시작 초기에 필요한 장비를 도입할 수 있다. 그러나 심해 연구가 진행되어감에 따라 필요한 장비는 연구의 목적, 방향, 환경 여건에 종속된 것으로 어떤 시스템이 필요한지 예측하기 어렵고, 첨단 심해 탐사 기술은 군사 기술로 바로 이전이 가능하기 때문에 외국에서도 기술을 쉽게 개방하지 않는다. 이로부터 얻을 수 있는 결론은 독자적인 심해 탐사 장비 개발 기술의 보유가 곧 심해 탐사의 성과와 직결되고, 세계적인 심해 탐사의 경쟁에서 앞서가기 위해서는 심해 탐사 및 개발 장비의 독자적인 개발 기술의 보유는 필수적이다.

한국해양연구원, 해양시스템안전연구소는 해양수산부의 지원으로 차세대 심해용 무인잠수정 개발 연구

모 전력에 의해 산출되며, 소모 전력은 장착되는 다양한 장비들에 의하여 결정된다. 특히, 가장 많은 전력을 소모하는 추진기의 경우 소모 전력은 선체의 크기 및 형태, 추진 방식, 요구되는 추력의 함수 관계에 있다. 선체의 크기와 무게는 선체, 탑재 장비와 부력체에 의해 결정되며, 케이블의 강도 설계에 관계가 있다. 아울러 케이블의 설계에 전원선과 광통신선의 사양을 고려하여야 하며 이는 다시 최대 전송 전력량이나 전압 강하와 같은 요소로 전원 설계에 영향을 미친다. 또한 계산 또는 모의실험에 의해 추정된 규격을 만족하는 심해용 부품이 있는지 또는 직접 제작이 가능한지 확인해야 하며 이러한 조건이 큰 제약 조건으로 작용한다. 이렇게 복잡하게 얽혀있는 요구 조건과 제약 조건을 동시에 만족시키는 해를 구하는 것이 심해 무인잠수정의 설계 과정이 된다.

3. 심해 무인잠수정의 전원시스템 설계

3.1 전원시스템 설계

전원시스템 설계의 첫 번째 단계로 전원을 공급하는 방식의 설계하여야 한다. 심해 무인잠수정의 전원은 모선으로부터 매우 긴 케이블을 통하여 공급된다. 참고로 현재 개발 중인 6000 m 급 심해 무인잠수정의 케이블의 길이는 약 8500m이다. 따라서 전송 중 전력 손실을 최소화 하기위하여 3상 전원을 승압하여 송전한다. 이를 위해 모선 시스템에 승압 변압기가, 수중 시스템에 강압 변압기 및 정류 장치가 필요하다. 이때 수중 시스템에 장착되는 전원 시스템의 무게와 부피를 최소화하기위하여 비행기에서 주로 사용하는 400Hz 전원을 사용한다. 이를 위해 모선 시스템에 주파수 변환기가 필요하다. 한편 수중이라는 환경에서 접지 이상으로 인하여 발생할 수 있는 문제를 감지하는 접지 이상검출장치가 장착되어야 한다. 접지이상검출장치는 별도로 장착된 차단기가 동작하기 전에 작은 문제까지 검출하여 필요한 준비를 할 수 있는 시간적인 여유를 제공하게 된다.

두 번째 단계로 공급 전원의 용량의 설계는 주어진

임무 수행을 위한 각 부품의 용량과 공급 가용량, 손실 등을 파악하여 적절한 시스템을 구성함과 동시에 전체 시스템의 조화를 이루도록 하여야 한다. 특히 설계 과정 중 특정 장치의 오차를 포함하였다 하더라도 이것이 다른 장치에서 다른 영향으로 나타날 수 있다는 사실과 각각 부품의 실제 성능이 이론적인 사양과 언저나 같지 않다는 사실을 염두에 두어 한다.

전원 용량의 설계에 고려되어 지는 사항으로 첫 번째는 가상의 임무를 구성하고 필요한 전체 시스템의 성능을 결정한다. 이는 전체 시스템의 관점에서 그리고 수행 작업 측면에서 분석을 하는 것이다. 두 번째로 앞에서 요구된 전체 시스템의 성능과 수행 작업의 완성을 위한 각각 세부 시스템에 요구되는 부하와 사양을 결정하는 것이다. 세 번째로 각 세부 시스템에서 사용되는 전력의 합으로 소요 전력 추정한다. 여기서 첫 번째 단계의 가상의 임무가 전력이라는 통일된 단위로 표현된다. 네 번째로 요구되는 전력을 공급할 수 있는 케이블설계와 수중에 장착된 전원 시스템의 용량을 결정한다. 이때 각 장치의 크기, 무게, 변환 효율을 감안하여야 한다. 마지막으로 전송 및 변환 손실을 감안한 모선 공급 전력 추정량을 산출하고 모선의 전원 시스템의 용량을 결정한다. 모든 단계의 과정들과 설계 변동에 대하여 시스템 개발이 완료할 때까지 추적이 필요하다.

3.2 해미래와 해누리의 전원시스템

그림 2는 해누리와 해미래의 전원시스템 계통도를 나타낸다. 이미 언급한 모선 시스템에서 최대 3상 400Hz의 3200VAC 전원을 공급한다. 수중에서 정류장치의 용량을 줄이기 위해 강압된 3상 AC 전원을 그대로 사용할 수 있는 추진기를 선정하였다. 그림 3은 실제 제작된 전원 시스템의 각 부분의 모습이다. 주파수 변환기와 승압 변압기는 모선의 전원실에 장착되며, 강압변압기와 정류장치는 유적용기에 탑재되어 수압에 노출되는 형태로 무인잠수정에 장착된다. 정류장치는 400Hz 전원을 사용하기 때문에 매우 작으며, 내압 용기 안에 직류 전원의 품질 향상을 위한 회로가 추가된다.

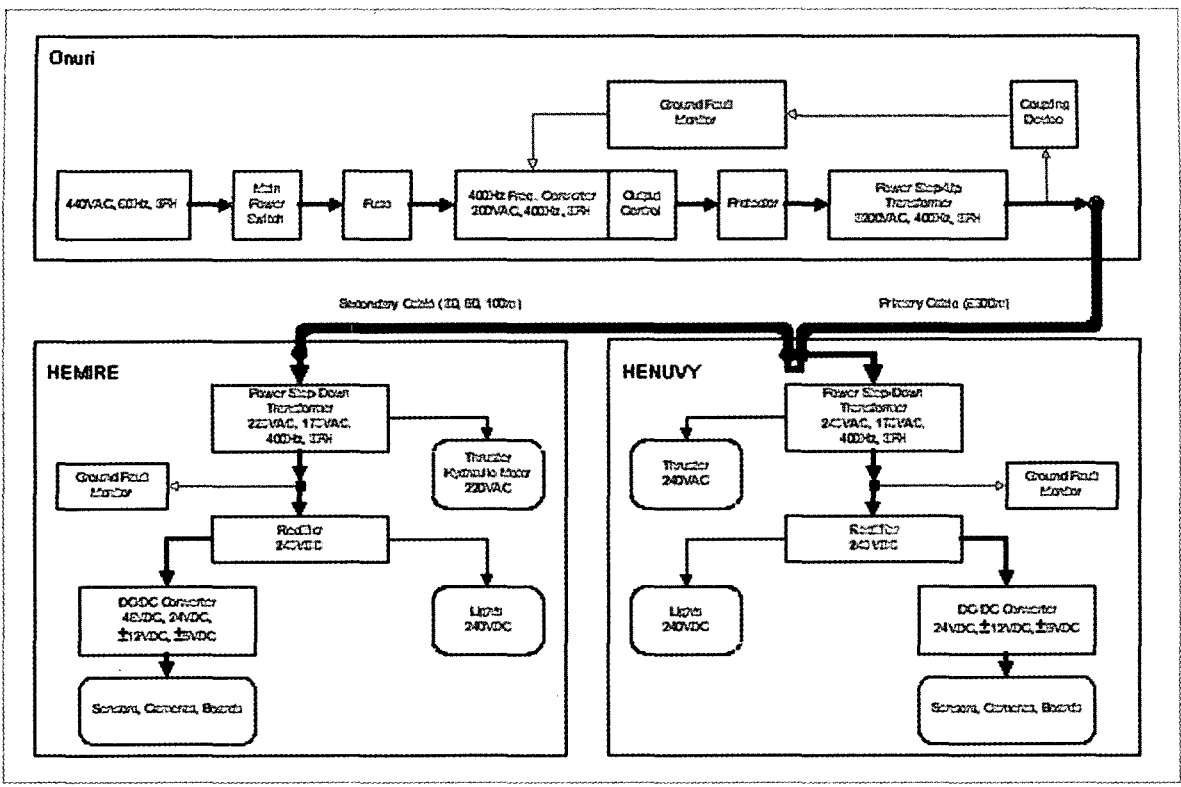


그림 2 해미래와 해누비의 전원시스템 구성도 그림

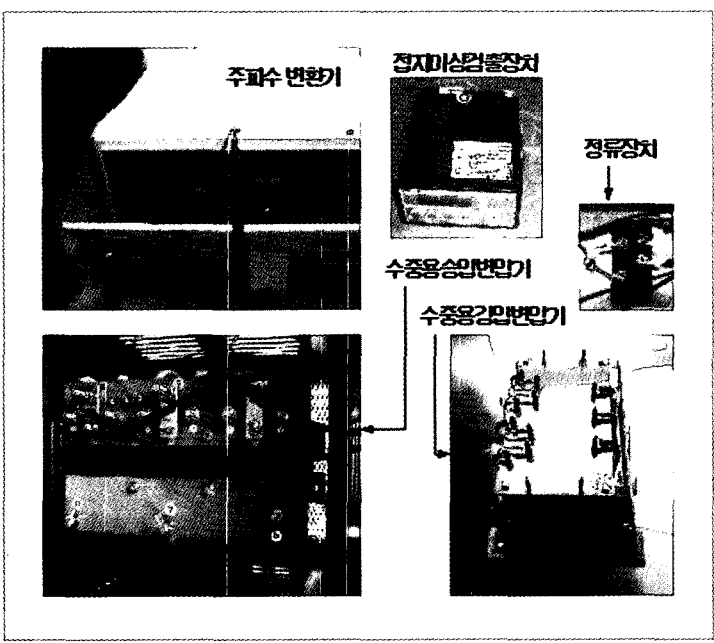


그림 3 해미래와 해누비의 전원 시스템

3.3 해미래와 해누비의 케이블

해미래 시스템의 케이블은 모선과 해누비를 연결하는 1차 케이블과 해미래와 해미래를 연결하는 2차 케이블로 구성된다. 그림 4는 케이블의 단면으로 왼쪽이 1차 케이블, 오른쪽이 2차 케이블이다. 1차 케이블은 3상 전원을 위한 3개 전원선, 3개의 접지 이상 감지선, 그리고 3개의 광통신선이 있다. 따라서 광통신선은 1 여유선이 있다. 케이블의 지름은 17.3mm이며, 최대 21톤까지 견딜 수 있는 강도를 가지고 있다. 2차 케이블은 해미래의 운동에 방해되지 않도록 약간의 양성 부력을 가지며, 심해의 압력과 케이블의 인장에 의한 광섬유의 마이크로벤딩을 저감시키기 위해 루즈튜브(loose tube) 방식으로 4개의 광통신선을 가지

고 있다. 그리고 3개의 전원선과 3개의 접지 이상 감지 선을 가지고 있다.

4. 심해 잠수정의 통신시스템 설계

4.1 광통신시스템

심해 무인잠수정은 통제 신호를 모선으로부터 심해의 시스템까지 전달하여야 하며, 이로부터 다양한 결과 신호와 계측 데이터를 받게 된다. 전송되는 명령 및 데이터는 주로 직렬 통신 (RS232, RS422, RS485)를 이

용하며, 영상 신호의 경우 아날로그 방식의 NTSC 신호를 이용한다. 이때 직면하는 기술적인 문제는 전송 거리의 제한과 전송 대역폭의 제한이다. 이때 광통신 시스템은 이러한 문제를 해결할 수 있는 유일한 방법이 된다. 광통신시스템은 중간 증폭기 없이 10km이상의 전송이 가능할 뿐만 아니라 충분한 대역폭을 제공한다. 따라서 광통신선이 포함된 케이블을 사용하여 충분히 빠른 대역폭의 광통신 시스템을 구성하면, 가상적으로 양단의 통신 장치를 직접 연결한 것과 같은 효과를 얻을 수 있다.

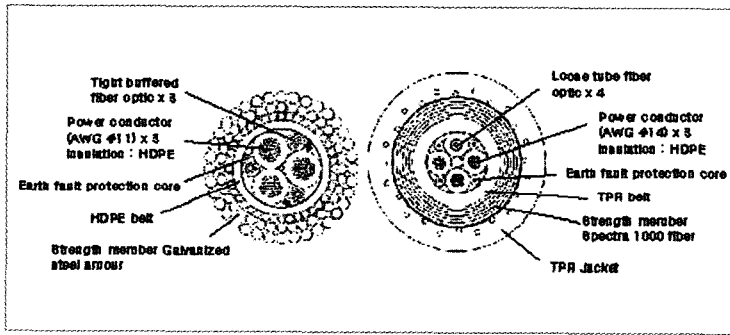


그림 4 해미래와 해누비의 1, 2차 케이블 단면

4.2 해미래와 해누비의 광통신시스템

해누비와 해미래는 직렬통신과 영상 전송을 위해 모선과 각각의 광통신 시스템을 가지고 있다. 각 광통신 시스템은 1.5 Gbps의 대역폭을 지원하며, 해미래는 영상 8채널, RS232 12채널, RS422/485 20채널을 확보하였으며, 해누비의 경우 영상 4채널, RS232 8채널, RS422/485 8채널을 가지고 있

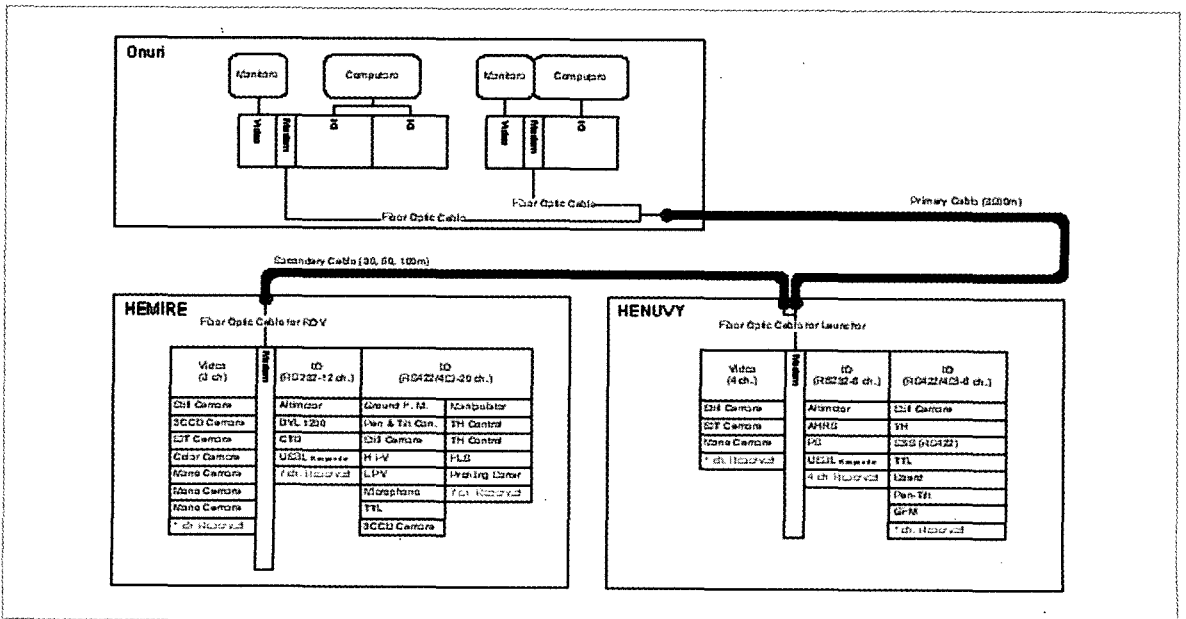


그림 5 해미래와 해누비의 광통신시스템 구성도

Video (3 ch.)	ID (RS232-12 ch.)	ID (RS422/485-20 ch.)
Ch1 Camera	Almanac	Manipulator
CCD Camera	DVL 1200	Dev & Test Can.
Ch2 Camera	CTD	Ch1 Camera
Ch3 Camera	USBL receiver	H-V
Man Camera	7 ch. Receiver	LPV
Man Camera		Manipulator
Man Camera		TTL
Man Camera		CCD Camera

Video (4 ch.)	ID (RS232-8 ch.)	ID (RS422/485-8 ch.)
Ch1 Camera	Almanac	Ch1 Camera
Ch2 Camera	AHRU	TH
Ch3 Camera	FD	CS2 (RS422)
4 ch. Receiver	USBL receiver	TTL
4 ch. Receiver		Isent
4 ch. Receiver		Dev-En
4 ch. Receiver		GM
4 ch. Receiver		

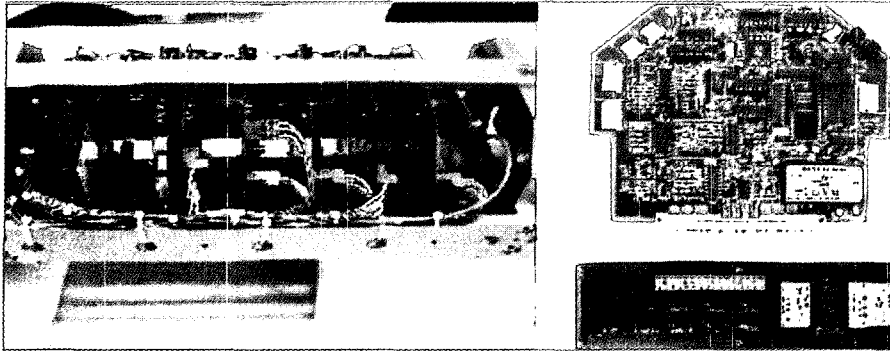


그림 6 해미래의 내압 용기 안에 장착된 슬라이딩 랙과 보드

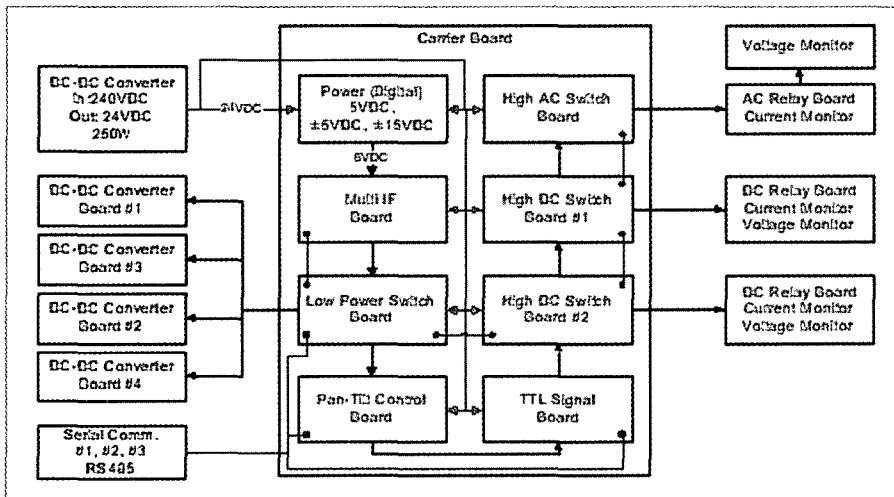


그림 7 해미래의 전기시스템 구성도

전송된 통제 명령에 의해 제어된다. 이때 실제 전원을 분배 및 단속하고, 상태를 감시하여 모션으로 반송하는 작업은 전기 시스템이 담당하게 된다. 전기시스템은 다양한 형태의 제어 보드로 구성되어 있다. 여기서 제어 명령을 해석하는 부분과 이를 받아 동작하는 부분, 동작 결과와 상태 정보를 다시 반송하는 부분은 공통 기능이 되며, 제어보드의 목적에 따라 각기 다른 기능을 수행한다. 전기 시스템의 작은 이상이 시스템 전체 기능 정지되는 상태를 초래하기 때문에 충분한 안전 및 상호 보완 기능을 확보하여야 한다.

이를 위해 각 보드에서도 전압과 전류를 검출하고, 온도 및 누수 상태를 측정하여 모션으로 전송하며, 각각의 내압 용기에는 접지이상검출 장치가 장착된다. 모션에서 발생한 통제 명령이 전기 시스템에서 반응할 때까지는 불가피한 시간 지연이 발생한다. 시간 지연의 발생 원인은 직렬 통신의 소프트웨어적인 처리와 다중 분기 (RS422, RS485) 방식에 의한 대기 시간이 원인이며, 광통신에 의한 시간 지연은 무시할 만큼 작다. 모든 전기시스템들은 내압용기 내에 탑재되기 때문에 각 부품의 용량과 수를 감안하여 발열을 최소화 하도록 구성 및 배치하여야 하며, 쉽게 열이 발산될 수 있는 내부 구조를 설계하여야 한다. 또한 신호 및 전원 분배와 배선을 간결하게 하고, 장비

다. 심해 잠수정은 먼저 범용 장비를 탑재 하는 것으로 설계하고, 탐사와 작업 목적에 따라 추가 장비를 장착 하게 된다. 이를 위해 반드시 필요한 것이 여유 통신 회선이다. 해미래와 해누리도 충분한 직렬 통신의 여유분을 확보하고 있고, 추후 장착이 고려되고 있는 고화질(HD)급 카메라를 위해 별도의 광통신 회선을 확보하고 있다. 그림 5는 설계된 광통신 시스템의 구성도를 나타낸다.

5. 심해 잠수정의 전기시스템 설계

5.1 전기시스템 설계

전원시스템에 의하여 공급된 전원은 광통신을 통해

의 추가나 변경이 발생하여도 유연하게 시스템을 확장, 변경할 수 있도록 전기적인 배선은 외부에 장착된 전원 및 신호 정합 장치에서 이루어진다.

5.2 해미래와 해누리의 전기시스템

해미래와 해누비의 전기시스템은 그림 6에서 나타난 것처럼 캐리어 보드에 장착된다. 여기에 장착되는 보드는 고 전력 AC 스위칭보드, 고 전력 DC 스위칭보드, 저 전력 DC 스위칭보드, 멀티 인터페이스 보드, 전원 공급 보드, 팬틸드 장치 제어보드, TTL 신호 발생 보드로 구성되어있다. 각각의 보드에서 릴레이 부분은 발열을 고려하여 별도의 보드로 분리하였다. 또한 보드에서 사용하는 전원은 디지털 회로 전원과 아날로그 회로 전원이 분리되어 있으며, 모든 보드는 하나의 직렬 통신선에 의해 제어 된다. 그림 6은 탑재된 보드를 나타내며, 그림 7은 전기시스템 구성을 나타낸다.

측정된 시간 지연은 약 100 - 200 msec로 전체 시스템의 대역폭을 고려할 때 수용할 수 있는 범위에 있다. 그러나 팬틸드 시스템 구동 보드처럼 빠른 응답이 필요하거나, TTL 신호 발생 보드처럼 시간 지연이 센서의 정밀도와 관계가 있는 경우 특히, 시간 지연의 변동이 정밀도를 영향을 미치는 경우는 독립적인 직렬 신호선을 할당하고, 하드웨어에 의한 신호처리를 함으로써 약 1 msec이하의 고정된 시간 지연을 보이도록 하였다.

6. 결 론

인류가 직면하고 있는 식량, 에너지, 자원, 환경 등의 다양한 문제의 해법을 바다에서 찾으려는 시도에서 심해 탐사 시스템은 처음부터 마지막까지 필요조건에 위치해 있다고 할 수 있다. 특히 독자적이고 선도적인 연

구를 위해서는 심해 탐사 및 개발 시스템의 독자적인 설계 및 제작 기술 능력은 더더욱 중요하다고 할 수 있다.

본 논문은 심해 무인잠수정으로 대표되는 심해 탐사 및 개발 시스템에서 사용되는 전원, 전기, 통신 시스템의 설계 방법을 설명하였고, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소에서 해양수산부의 지원을 받아 개발 중인 차세대 심해용 무인잠수정, 해미래와 해누비에 적용된 사례를 설명하였다.

수중용 전원, 전기, 통신 시스템은 하나의 시스템으로 동작하기 때문에 시스템의 조화를 위해 통합 설계가 되어야 하며, 일반적인 지상 시스템에 비해 많이 부가된 설계 및 개발의 제약 조건을 풀어야 한다. 또한 높은 수준의 안전성과 신뢰성을 요구하기 때문에 시스템의 목적에서부터 요구 분석, 상세 설계, 세부 장치 구매 또는 개발, 전체 시스템 정합, 시험, 운영에 걸친 모든 과정이 일관되게 수행되어야 하며, 모든 과정과 변동 사항이 추적 관리 및 설계 변경에 반영 되어야 한다. 아울러 실제 개발에 있어 본 논문에서 지면의 제한으로 인해 간략하게 언급되거나 다루지 못한 많은 기술들이 함께 접목되어있으며, 특정 시스템과 연관된 특수한 제한 조건이 부가된 경우 어떤 설계 방법도 절대적인 기준이 될 수 없음을 밝혀 둔다.

현재 개발 중인 해미래와 해누비는 현재 제작이 완료되었으며 수조 시험 중에 있다. 여기서 각 부분의 성능 점검을 마치고 4월에 동해 시험을 시작으로 10월에 태평양 심해 시험을 거쳐 계속 실험역 시험과 모션을 포함한 시스템 및 운용 방법에 대한 보완이 이루어지고, 2007년 4월 모든 개발을 완료할 예정이다. 이 개발의 완료는 우리나라도 독자적인 심해 탐사를 할 수 있다는 것을 의미하며, 새로운 미개척분야의 연구의 시작을 의미한다. 모든 노력이 인류의 당면한 문제를 해결하는 성과를 얻는데 선봉에서는 역할을 기대 한다.