

브이용 태양광 최대 전력 추적 알고리즘에 관한 연구

조관준* · 정성영** · 배수영** · 이지영*** · 오진석†

(원고접수일 : 2009년 3월 5일, 원고수정일 : 2009년 5월 21일, 심사완료일 : 2009년 5월 26일)

A Study on the MPPT Algorithm for Buoy

Kwan-Jun Jo* · Sung-Young Jung** · Soo-Young Bae** · Ji-Young Lee***
and Jin-Seok Oh†

Abstract : The maximum power point operation point(MPPOP) of photovoltaic(PV) power generation systems changes with varying atmospheric conditions such as temperature, solar radiation. For achieving a high efficiency in PV system, it is very important for PV system to track the MPPOP correctly according to operation condition. Although the MPPT(maximum power point tracking) algorithm which applied P&O(Perturbation & Observation) or IncCnd(Incremental Conductance) algorithm tracks the MPPOP efficiently, its efficiency drops noticeably in case that the incidence angle of PV panel on buoy changes rapidly. To solve this problem, this paper proposes maximum power point searching and tracking algorithm(MPPST). The proposed algorithm set the specific area and measures the PV voltage at the same interval. The proposed algorithm have been obtained high efficiency than P&O algorithm through ocean experiment.

Key words : MPPOP(최대전력동작점), P&O(전력비교법), MPPST(최대 전력 탐색기), PV pannel (태양 전지판), Bouy(브이)

1. 서 론

해상 교통안전 표지물인 브이는 야간이나 안개 등의 악천후 상태에서의 선박의 안전항해를 돕기 위해 운영된다. 이러한 대부분의 브이는 바다 한가운데 설치되어 운영되며 전력 시스템으로 태양광 기반의 독립형 전력 시스템을 이용하고 있다. 태양광 발전 시스템은 에너지 밀도가 저밀도이며 출력

특성이 일사량, 온도 등의 자연 조건에 따라 좌우된다. 따라서 에너지 손실의 최소화와 태양전지 어레이로부터 최대 전력을 얻을 수 있는 최대 출력 제어에 관한 연구가 반드시 필요하며 많은 연구가 진행되고 있다.^[3]

태양광 발전 시스템의 출력 제어는 일반적으로 MPPT (Maximum Power Point Tracking) 제어를 통한 다양한 연구 방법이 제시되고 있

† 교신저자(한국해양대학교 선박전자기계공학과, E-mail: ojs@hhu.ac.kr, Tel:051-410-4283)

* 수중운동체 특화 연구센터

** 한국해양대학교 대학원 메카트로닉스공학과

*** Cardiff university the manufacturing engineering

다.^{[5],[6]} 이는 제어 기법이 비교적 단순하여 소규모 제어 시스템에 적합한 P&O 제어 기법을 응용한 것이다. 또 다른 제어 기법인 IncCond 제어 기법은 연산 방식이 복잡하고 빠른 연산처리가 요구되어 소규모 시스템에서는 사용이 부적합하다.

P&O 제어 기법은 태양전지 어레이의 출력 전압을 주기적으로 증가, 감소시키고 이전의 출력 전력과 현재의 출력 전력을 비교하여 최대 전력 동작점을 찾는다. 이는 출력 전압이 서서히 변화하는 상황에서는 제어 알고리즘이 오류 없이 최대 전력점을 안정적으로 정확하게 추정하지만, 태양광이 급변할 경우 순간적으로 태양전지 어레이 출력 전압이 최대 전력 동작점에서의 전압과 같지 않기 때문에 최대 전력 추종 제어를 벗어나는 단점이 있다.

해상용 브이에 설치되는 태양 전지판의 경우 브이 자체가 계속적으로 움직여 태양 전지판과 태양의 각도가 계속 변화하게 되고 이는 태양 전지판의 일사량이 계속 변화 되는 것과 같은 형태로 동작하게 된다. 본 논문은 이러한 문제를 해결하기 위하여 P&O 제어 기법을 수정 보완한 해상 브이용 태양광 최대 전력 추적 알고리즘을 제안한다.

2. 독립형 태양광 발전 시스템

2.1 독립형 태양광 발전 시스템

독립형 태양광 발전 시스템은 태양전지판의 전력으로 축전지를 충전하고 축전지에 충전된 전력으로 부하에 안정된 전력을 공급하는 시스템이다. 태양전지판에서의 생산되는 전력량은 비선형적인 전력 특성을 갖는다. 태양광 전지판의 출력은 일사량, 태양광 전지판의 표면 온도, 설치 및 운영 조건에 따라 차이가 난다. 태양 전지판의 출력(P)은 수식 (1)과 같다.

$$P = I_{ph} V_p - I_o V_p \left[\exp\left(\frac{q}{AKT} V_p\right) - 1 \right] \quad (1)$$

수식 (1)에서 I_{ph} 는 셀 광전류, V_p 는 PV 출력전압, I_o 는 포화전류, q 는 충전 전하량, K 는 볼츠만 상수(Boltzman's constant), $T[K]$ 는 셀 온도, A 는 PN 접합 재료 상수이다. 태양 전지판의 전력식에서 일사량이 클수록 온도가 낮을수록 전력의

생산량이 큰 것을 알 수 있다.⁽¹⁾⁻⁽²⁾ 태양전지판이 비선형적인 특성을 지니므로 태양전지판에서 최대의 전력을 끌어내어 축전지에 충전할수 있도록 태양전지판의 출력 전압을 조정하여 생산 전력량이 최대가 되도록 하는 최대 전력 제어 알고리즘이 필요하다.

2.2 P&O 최대 전력 추적 알고리즘

P&O 최대 전력 지점 제어 알고리즘은 간단한 피드백 구조를 갖으며 소수의 측정 파라미터를 갖는다. 이는 태양 전지판의 전압을 주기적으로 증가 감소시킴으로써 동작하며, 이전의 태양전지의 어레이 출력 전력과 함께 현재 어레이 출력 전력을 비교하여 최대 전력의 상태를 연속적으로 추적한다. Fig. 1은 P&O 제어 알고리즘의 순서도를 나타낸 것이다.

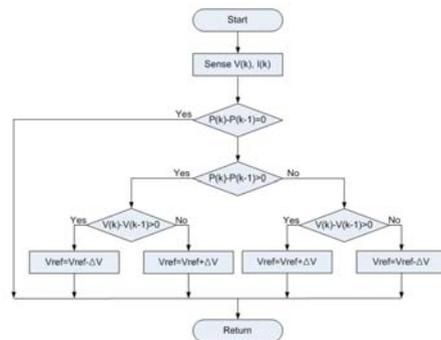


Fig. 1 P&O MPPT algorithm flowchart

현재의 전력과 이전 전력을 비교하여 전력이 증가하면 계속 같은 방향으로 변화하고, 현재의 전력이 이전의 전력보다 낮을 경우 반대 방향으로 동작하게 된다. 다음은 태양 전지판의 추적 동작을 나타낸 것이다.

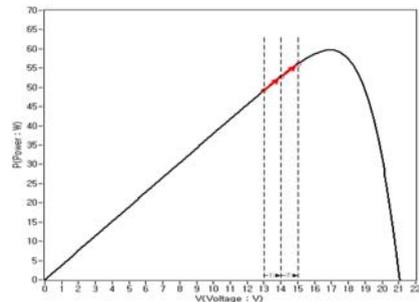


Fig. 2 P&O MPPT algorithm

P&O 알고리즘은 천천히 변화하는 환경(일사량) 조건일 때 최대 전력 지점에서 자려 진동하게 된다. 이러한 자려 진동에 의해 발생하는 전력 손실을 줄이기 위하여 추적 동작 Step을 줄이는 방법이 있으나 이럴 경우 환경 조건이 변화하는 동작에서 정확하게 추적할 수 없게 된다. 육상의 경우 태양광량의 변화가 구름의 의한 변화 등으로 10~30 초 이내에 일어나기 때문에 Step을 줄이는 방법으로 10초 정도의 Step으로도 충분히 추적이 가능하다. 하지만 해상의 브이의 경우 계속적으로 변화하게 된다.

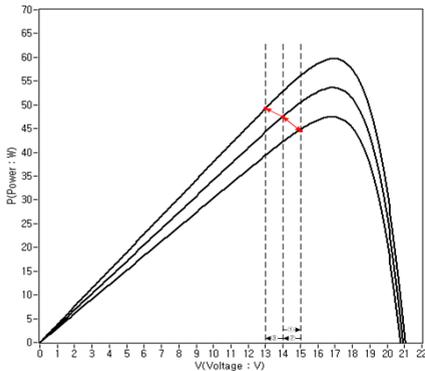


Fig. 3 P&O MPPT algorithm in sea

Fig. 3은 P&O 알고리즘을 해상에 적용하였을 때의 문제점을 나타낸 것이다. Fig. 3에서 1번 위치에서 태양광량이 위치한 상황에서 전압이 상승하는 방향으로 한 Step이동하였을 때, 브이의 위치가 변화하여 태양광량이 변화하면 2번 위치로 움직이게 될 때 문제가 발생하게 된다. 광량의 변화에 따라 전력량이 줄어들었는데 Step의 변화에 의해 광량이 줄어 든 것으로 판단하게 되어 반대 방향으로 움직이게 된다. 반대방향으로 이동하였을 때 브이의 이동으로 광량이 2번에서 1번으로 이동하게 되면 기존의 전력량보다 현재의 전력량이 크게 됨으로 계속 최대 전력 지점과 반대 방향으로 변화하게 된다. 다시 광량이 3으로 증가하게 되면 계속 전력량이 증가함으로 계속 전력 지점으로 이동하게 된다. 하지만 이러한 움직임은 최대 전력 지점과 다른 방향으로 움직이게 되는 상황이 발생하여 제어기의 오류를 가져 온다.

3. Searching 기법을 이용한 최대 전력 추적 알고리즘

3.1 추적 범위

태양 전지판의 최대 전력 지점은 1개소만 존재하고 태양 전지판의 최대 전력 지점은 대부분 일정 부분에 위치한다. Fig. 4는 수식 (1)을 이용하여 태양 전지판 2개를 직렬로 연결한 상황에서의 최대 전력 지점을 LabVIEW를 이용하여 시뮬레이션 하였다. Fig. 4는 태양 전지판을 온도 40°C에서 광량의 변화 50~1000W/m²까지 50씩 변화하였을 때 최대 전력 지점을 연결하여 나타내었다.

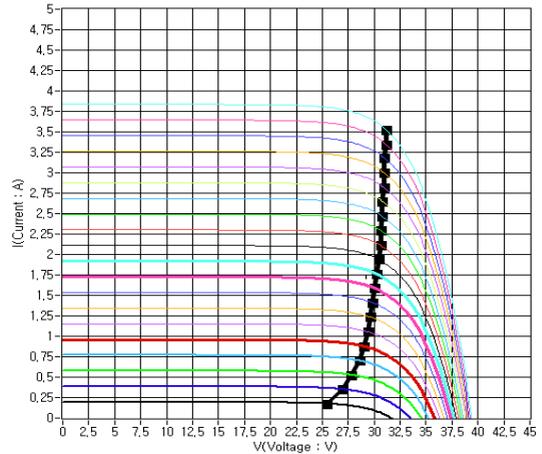


Fig. 4 Simulation results of MPP

태양전지판은 온도와 광량에 따라 출력 곡선이 변화하게 된다. 이때 광량에 따른 출력 곡선의 변화가 크기 때문에 온도를 고정하여 시뮬레이션 하였다. 최대 전력 지점은 출력 전압과 출력 전류를 곱한 값이 최대가 되는 전압 값과 전류 값이다. 비선형적인 태양 전지판 출력 곡선에서 최대 전력 지점은 1개소이다. 광량의 변화하더라도 최대 전력 지점은 일정 범위를 갖는 것을 알 수 있다. 본 논문은 이러한 태양 전지판의 최대 전력점이 분포하는 일정 범위를 일정 간격으로 전력량 측정하여 Searching하는 방법으로 최대 전력지점을 추적하고자 한다.

3.2 Searching 제어 알고리즘

Searching 추적 제어 알고리즘은 Searching 구간을 일정 간격으로 측정하여 최대 전력 지점을 찾고, 이 지점에서 다시 P&O 제어 기법을 이용하여 최대 전력 지점을 추종하도록 제어 한다. 다음은 Searching 알고리즘의 순서도를 나타낸 것이다.

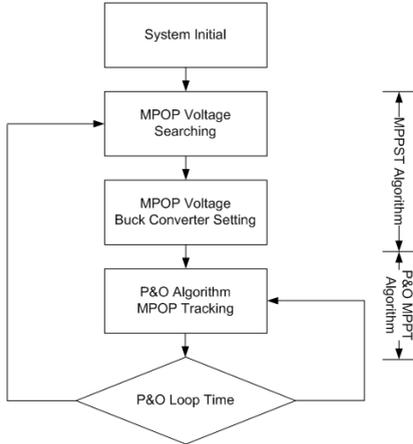


Fig. 5 P&O MPPTS algorithm flowchart

일정 간격으로 Searching 구간의 전력량을 측정하여 최대 전력 지점으로 이동 후 P&O 제어 기법을 이용하여 최대 전력 지점을 추종하도록 한다. Fig. 6은 Searching 추적 알고리즘을 적용하였을 때 Fig. 3과 같은 상황이 발생할 경우를 나타낸 것이다. 광량이 1~3으로 변화하더라도 출력 지점 구간을 Searching 함으로 항상 최대전력 지점을 유지 하는 것을 알 수 있다. 이를 수식적으로 일정 간격의 태양 전지판 출력 전압에 따른 출력 전력을 나타내면 수식 (2)와 같다.

$$P_1 = VI_1, P_2 = (V+k)I_1, P_3 = (V+2k)I_2, \dots, P_n = (V+nk)I_3 \quad (2)$$

이때 V는 축전지 직결 연결 전압으로 Buck converter가 기능을 하지 않고 태양 전지판과 축전지를 직결로 연결한 형태이다. k는 Searching 알고리즘에서의 전압의 등간격을 나타낸 것이다.

$I_1, I_2, I_3 \dots I_n (n=1,2,3, \dots, n)$ 은 등간격 전압에 따른 충전 전류를 나타낸 것이고 $P_1, P_2, P_3 \dots P_n (n=1,2,3, \dots, n)$ 은 각 등간격에서의 전력값을 나타낸 것이다. 이러한 일정 간격의 출력 전압에 따른 출력 값 중 최대 전력 값을 찾으면 수식 (3)과 같다.

$$P_{max} = Max(P_1, P_2, P_3, \dots, P_n) \quad (3)$$

$$P_{max} = V_{max} I_{max}$$

수식 (3)에서 P_{max} 는 각각의 등간격 전압 중 최대 전압을 나타낸 것이다. 최대 전력에서의 전압을 V_{max} , 전류를 I_{max} 이다. 전력 값에 기존의 P&O 알고리즘을 적용하여 최대 전력 점을 추종하도록 구성한다. 이를 수식으로 나타내면 수식 (4)와 같다.

$$P_{max}' = (V_{max} + k')I_{max}' \quad (4)$$

$$P_{max} = \begin{cases} P_{max} \leq P_{max}' : P_{max} = P_{max}', k' = k' \\ P_{max} > P_{max}' : P_{max} = P_{max}', k' = -k' \\ \text{then } k \gg k' \end{cases}$$

수식 (4)에서 k' 은 P&O알고리즘에서의 변화하는 전압 값을 나타낸다. P_{max}' 은 등간격의 최대 전력 값에서 k' 만큼 전압을 변경한 전력 값을 나타낸다. P&O 알고리즘은 수식 (4)를 반복하면서 동작하게 된다. 본 논문에서의 Searching 제어 알고리즘의 k는 P&O 알고리즘의 k' 에 비하여 큰 값이다.

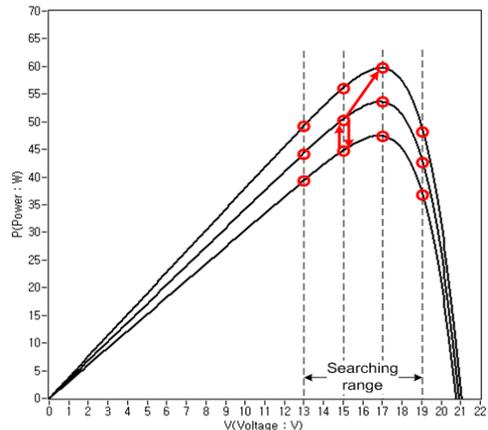


Fig. 6 P&O MPPTS algorithm(proposed)

Fig. 6은 Fig. 3과 같은 상황의 광량 변동이 발생할 경우의 Searching 제어 알고리즘의 제어 동작을 나타낸 것이다.

4. 실험

4.1 실험 구성도

제어 알고리즘의 실효성을 테스트하기 위하여 Fig. 7과 같이 해상에 P&O 알고리즘과 Searching기법을 이용한 제어 알고리즘의 제어기를 구성하였다. 제어기에서 축전지로 충전되는 전력량을 동일하게 계측하여 통신으로 육상에서 수집할 수 있도록 구성하였다.

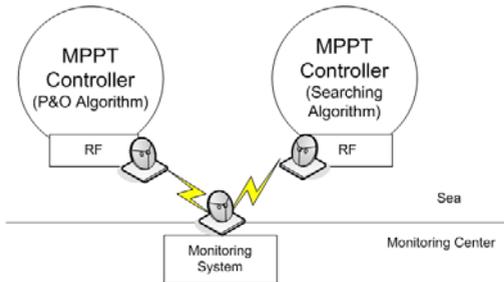


Fig. 7 Schematic diagram of experimental apparatus

해상 브이용 태양광 발전 시스템은 대부분 태양 전지판으로 발생된 전력을 축전지로 충전하는 형태로 구성되어 있다. 독립형 소용량의 태양광 충전 시스템은 Buck converter를 이용한 충전 제어 시스템을 이용하여 태양 전지판의 출력 전압을 조정한다.^[1] Fig. 8은 실험 제어기의 구성도를 나타낸 것이다. MPPT제어기에서 전압, 전류 값을 측정하여 무선 시스템으로 송신한다.

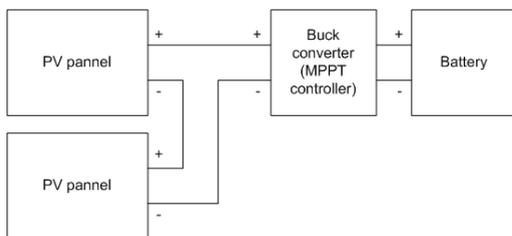


Fig. 8 P&O MPPT algorithm flowchart

다음은 이를 실제 해상에 설치한 사진이다. 실제 해상에 동일한 용량의 태양 전지판을 설치하고 실험하였다. 실험의 편의를 위해 부산 내항에 설치하여 실험하였다. Fig. 9의 좌측은 실험 제어기를 나타낸 것이고 중앙은 실험용 브이 우측은 통신 시스템이다. 실험 제어기는 브이의 상단의 안테나를 통하여 실제 육상의 안테나와 교신하여 실험 데이터를 취득하였다.



Fig. 9 Experiment system of MPPTS algorithm (Left : MPPTS controller, Middle : buoy, Right : RF-antenna on shore)

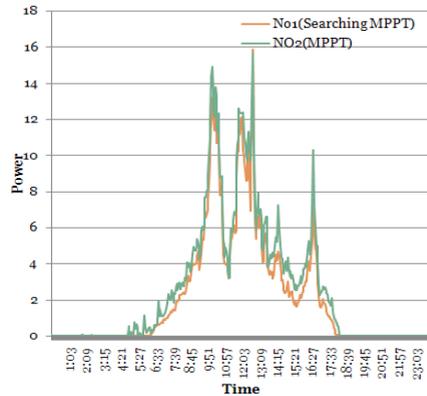
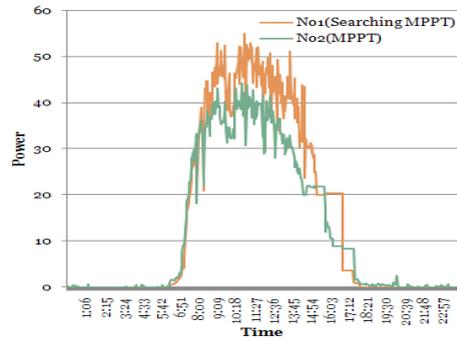


Fig. 10 P&O MPPT algorithm flowchart

4.2 실험 결과

Fig. 10은 태양광 제어기 출력 전력 비교 실험 결과를 나타낸 것이다. 실험 비교는 맑은 날 파도가 높은 날과 흐린 날의 전력량을 비교한 것이다. 맑은 날의 경우 Searching 기법이 더 큰 효율을 내는 것을 알 수 있다. 흐린 날의 경우 Searching 후 P&O 알고리즘을 적용하기 때문에 비슷한 크기를 갖는 것을 알 수 있다. 맑은 날의 경우 평균적으로 약 18%정도 본 연구에서 제안하는 제어 알고리즘이 높은 수치를 갖는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

해상 교통의 안전을 위해 설치되는 해양시설물인 브이는 전원 공급을 위해 독립형 태양광 기반의 발전 설비를 많이 사용하고 있다. 태양 전지판의 출력에 따라 브이의 성능이 좌우되므로, 태양 전지판의 최대 전력 추적 기법에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다.

본 논문은 P&O 알고리즘이 적용된 기존의 MPPT 제어 기법이 급변하는 해상 환경에서 최대 전력점 추종에 어려움이 있다는 것을 확인하고, 이러한 오류를 수정 및 보완하고자 새로운 알고리즘을 제안하였다. 이는 태양 전지판 내 최대 전력 지점이 일정 부분에 위치한다는 것에 착안하여, 최대 전력 지점이 위치한 일정 부분을 정하여 그 구간에서 Searching 알고리즘을 통하여 최대 전력 지점을 찾고자하였다.

최적 지점 전압 값을 검색하고 최적지점에서 P&O 알고리즘을 적용하는 Searching 알고리즘은 실제 해상 실험을 통하여 기존의 알고리즘보다 성능이 우수함을 확인하였다. 앞으로 추적 제어 알고리즘을 더욱 보완하여 해상에 최적화된 MPPT 제어 알고리즘을 연구하는 것이 과제로 남아있다.

후 기

본 연구는 국토해양부 “해양시설물용 Hybrid 전력 생산 시스템 기술 개발”의 지원으로 작성됨.

참고문헌

- [1] Kwan-Jun Jo, Hee-Han Yoo, Seung-gi Gug, Jin-Seok Oh, “Design and analysis of power system for bouy”, Journal of korean Navigation and Port Research, Vol 31 No 3, pp. 229-233, 2007.
- [2] Gwon-Joung Yu, Young-Seok Jung, Ju-Yeop Choi, “A study of new highly efficient MPPT control algorithm”, Journal of the koran Solar Energy Society, Vol. 22, No. 3, 2002.
- [3] 이경수, 정영석, 소정훈, 유권중, 최재호, “태양광 시스템에서의 새로운 MPPT 알고리즘 제안”, 전력전자학회 논문지, 제10권, 제1호, 2005.
- [4] 강태경, 강주성, 이준엽, 고강훈, 이현우, “평형/불평형 경계점 제어를 이용한 MPPT제어에 관한 연구”, 2005년 춘계 한국태양에너지학회 학술발표대회논문집, pp. 47-52, 2005.
- [5] 지상근, 권두일, 유철희, 한상규, 노정욱, 이효범, 홍성수, “One Switching Cycle 내에 최대전력점을 추종하는 태양광 발전의 MPPT 제어 시스템”, 전력전자학회 2008년도 학술대회 논문집, pp. 317-319, 2008.
- [6] 정영석, 유권중, 소정훈, 최주엽, 최재호, “P&O 알고리즘을 개선한 새로운 MPPT 알고리즘”, 전력전자학회 논문지, pp. 925-928, 2003.

저 자 소 개



조관준(趙琯濬)

1982년 5월생. 2005년 한국해양대학교 선박전자기계공학부 제어시스템 전공(공학사), 2007년 동대학원 메카트로닉스과 졸업(석사), 동 대학원 박사과정, 현재 수중운동체 특화 연구센터



정성영(鄭星泳)

1985년 4월생. 2008년 한국해양대학교
선박전자기계공학부 제어시스템 전공
(공학사), 현재 동 대학원 석사과정



배수영(裴修英)

1984년 4월생. 2008년 한국해양대학교
선박전자기계공학부 전기전자 전공(공
학사), 현재 동 대학원 석사과정



이지영(李智英)

1977년 5월생. 2002년 한국해양대학교
운항시스템공학부 기관과정 졸업. 2002
년~2004년 한국해양대학교 대학원 졸
업. 2004년~현재 Cardiff University The
Manufacturing Engineering 박사과정



오진석(吳珍錫)

1960년 3월생. 한국해양대 졸업.공학박
사 영국ZODIAC 선박회사 엔지니어.
1989년~1992년 국방과학연구소 연구
원. 1992년~1996년 양산대 전임강사,
조교수, 학과장. 1996년~현재 한국해
양대 전임강사, 조교수, 부교수, 교수.
2001년~2002년 영국 CARDIFF대학 교
환교수. 2002년~현재 산학연컨소시엄
사업단장. 2002년~2004년 한국마린엔
지니어링학회 편집위원. 2002년~현재
한국산학연논문집 편집위원. 2003년~
2006 영국 K.O.Tech 연구원, 2005년~
2006년 부·울 산학연 협의회 회장