

2. 특집기사

미리 보는 해양오염 방제용 지능로봇

The Prospects of Intelligent Robots for Marine Pollution Response



하윤수

Y-S Ha

- 1962년 4월 23일생
- 한국해양대학교 기계·정보학부 교수

1 서론

최근 전기전자 및 컴퓨터·정보 기술의 진보와 함께 로봇산업에도 많은 발전이 있어왔다. 로봇의 종류도 종래의 산업현장에서 생산을 지원하기 위해 개발되었던 산업용 로봇에서부터 원자로나 심해저작업 등 인간이 직접 하기에는 위험부담이 큰 작업을 대신하는 극한작업용 로봇, 환자의 간병, 청소 등을 대신하는 복지 및 서비스로봇을 비롯하여 애완로봇에 이르기까지 매우 다양해지고 있다. 이러한 가운데 미국과 일본은 IT와 결합되는 지능로봇기술을 신산업 창출을 위한 10대 중요기술로 선정하고 국가 전략 프로젝트로 추진하고 있으며, 우리나라에서도 2001년 10월 국가 지능로봇 기술 발전기본계획에 대한 공청회를 한국과학기술평가원 주관으로 개최한 바 있다. 이 기본계획에 따르면 재해대응로봇 과 해양관련로봇은 경제성 논리에 입각하여 개발여부가 결정되어지는 일반 로봇과는 달리, 항공우주 및 국방로봇 등과 함께 국가전략 및 안보적 차원에서 개발근거를 찾는 국가전략분야로 분류하고 있다[1]. 필자는 이러한 인

식에 대해, 해양 분야의 교육기관에서 지능로봇관련 연구 분야에 종사하는 한사람으로서 지극히 당연한 것으로 생각하며, 한편으로는 무거운 사명감을 느낀다.

현재 개발되고 있는 해양관련로봇은 해양탐사 혹은 해저작업용이 대부분을 차지하고 있다. 이에 반해 해양에서 일어나는 가장 큰 재해중의 하나인 선박의 좌초 및 침몰 등으로 유출된 기름으로 인한 해양오염사고에 대응할 수 있도록 설계된 지능로봇에 관한 자료는 찾아보기 어렵다. 다만 다목적으로 개발된 해저작업용 원격조종로봇(ROV: Remotely Operated Vehicle)이 침몰 선박 내 잔존 유 회수작업에 참여한 예는 있다[2].

우리나라 연안에서의 해양오염사고는 해상오염 관리업무를 시작한 1979년 128 건에서 지속적으로 증가해 2001년에는 455건에 이르고 있어 그 경제적 손실 및 환경오염피해는 막대하다. 이러한 오염에 대한 방제작업은 신속하고 정확하게 이루어져야하지만, 이는 훌륭한 방제지원시스템이나 첨단방제장비의 도움 없이는 불가능하다. 이러한 측면에서, 필자는 최근 급속히 발전하고 있는 지능로

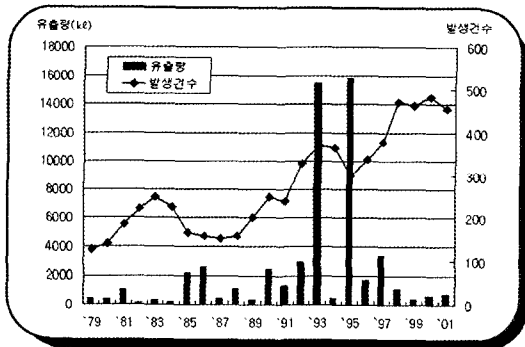
봇기술을 접목한 첨단방제장비가 오염현장을 누빌 날이 멀지 않았다고 생각한다.

이러한 관점에서 볼 때, 앞으로 개발되어야 할 다양한 해양오염방제로봇의 형태와 기능에 대해 살펴보고, 해결해야 할 과제들을 미리 정리해 보는 것도 미래의 관련연구를 위해 의미 있을 것이다. 따라서 필자는 이를 위해 우선 해양오염 및 피해현황, 현재의 방제기술 및 장비 등에 대해 고찰하고 이에 근거하여 미래에 등장할 방제로봇의 모습을 정리해 보고자한다.

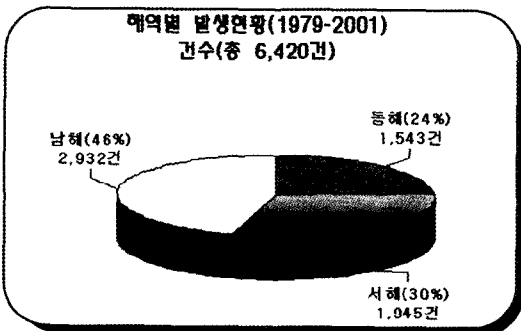
2. 해상 유출유로 인한 오염 및 피해현황

해상유류취급자에 대한 지속적인 교육과 안전시스템의 설치에도 불구하고 우리나라에 있어서 해상유출유 사고건수는 지속적으로 증가해 오고 있다.

그림 1 (a),(b)는 우리나라가 해양오염관리업무를 시작1979년부터 2001년까지의 연도별 오염발



(a) 연도별 사고발생 추이



(b) 해역별 사고발생 건수

그림 1 연도별, 해역별 해양오염사고

표1. 최근 5년간의 경제적 피해현황

구분	발생건수	유출량(K1)	방제비용(백만원)		피해보상(백만원)		
			전체	국고세입	요구액	보상액	
1997	379	3441.0	건수	240	62	2	
			금액	1,283	408	2000	
1998	470	1,050.0	건수	265	112	1	
			금액	1,433	488	1735	
1999	463	387.0	건수	259	44	0	0
			금액	557	89	0	0
2000	483	583.0	건수	237	61	1	1
			금액	1,997	212	400	45
2001	455	668.1	건수	243	42	1	1
			금액	1,491	91	55	36
계	2,250	6,129.1	건수	1,244	321	5	2
			금액	6,767	1,288	4,190	81

(자료: 한국해양연구원홈페이지)

생 건수와 해역별 발생건수를 나타낸 것이다. 연도별 오염사고 발생추이는 1979년 사고 발생건수 128건에 비해 2001년에는 455건으로 무려 355% 증가한 것으로 나타났다.[3]

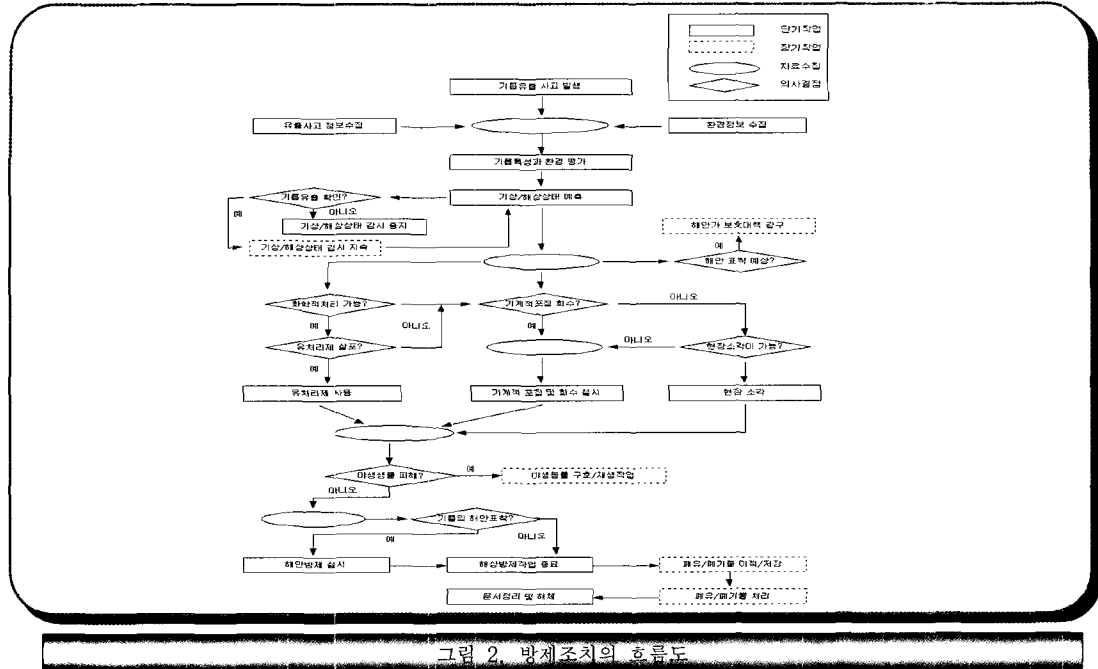
1979에서 2001년까지 각 해역에서 발생한 오염사고 발생건수는 총 6,420건으로 집계되었으며, 그 중에 부산해역이 1,371건으로 전체 사고건수의 21.4%를 차지하였고, 그 다음으로 오염사고가 많이 발생한 해역은 인천해역으로 949건이 발생되어 14.8%를 차지한 것으로 나타나 해양오염사고는 선박 입출항이 빈번한 해역에서 많이 발생되고 있는 것으로 나타났다.

기름유출로 인한 어장피해를 비롯한 해양환경 피해에 대한 보상, 방제비용의 지출 등으로 인한 손실도 막대하다. 표 1은 최근 5년간의 유출유 사고로 인한 피해보상 및 방제비용 등으로 지출한 경제적 손실현황을 나타낸 것이다.

3. 해양오염방제 기술 및 장비

3.1 방제작업의 개요

유출유로 인한 해양환경오염 및 경제적 피해를



최소화하기위해서는 신속하고 체계적인 방제활동이 수행되어야한다. 그림 2는 전형적인 방제조치의 흐름도를 나타낸다[5].

유출사고 발생 시 방제업무는 유종 및 유량 등의 유출 유에 대한 정보와 주변해역에 대한 환경정보를 수집한 후 기름특성 및 환경영향평가, 기상 및 해상상태 예측감시, 방제작업방법결정 및 시행, 사후처리 등의 순으로 진행되어진다.

3.2 정보수집 및 감시

유출정보, 해상 및 기상정보 수집을 위해서는 관측용 부이가, 확산 감시를 위해서는 선박 혹은 항공기가 주로 이용되고 있다. 그러나 고정용 관측부이는 관측범위가 국한되어져있어 현장의 정확한 정보를 수집하는 데에는 한계가 있다. 선박을 이용한 오염 확산 감시의 경우 느리고 시계의 한계 등으로 기름띠를 노치기 쉽다. 한편, 헬기나 고정익항공기 등을 이용한 항공감시의 경우 빠르고 정확한 감시 결과를 얻을 수 있지만 별도의 이착륙공간이 필요하고, 이착륙장과 현장의 기상상태의 차이에 따라 실시간 협조를 얻기 어려운 점이 있으며 유지 및 관리비용이 많이 든다.

3.3 해안방제

방제방법에는 기름의 해안포착 여부에 따라 해안방제와 해상방제로 나누어질 수 있다. 기름이 일단 해안에 착륙하게 되면 방제작업은 대단히 번거로워지며 거의가 수작업에 의존하게 되므로 가능한 한 기름이 해안에 착륙하지 않도록 사전 대책이 요구되어진다. 그림 3은 실제의 해안방제작업 모습이다.



그림 3. 해안방제작업 관경

3.4 해상방제

해상방제의 경우 기름의 량, 오염범위, 풍화정도 등에 따라 방제방법도 화학적 처리, 기계적 포집 및 회수, 현장소각 등으로 달라진다.

유출유를 물리적으로 제거하는 장비로는 오일 펜서, 유회수기, 유흡착제를 가장 대표적으로 들 수 있다.

해상 유출유 유회수작업은 우선 오일펜서를 이용해 기름의 확산을 막고, 기름을 포집하면서 유회수기 혹은 흡착제를 이용해 회수한다. 오일펜서 전장에는 주로 선박을 이용하는데, 신속하고 정확한 전장은 오염피해 확산을 막는데 대단히 중요하다. 유회수기를 이용한 회수작업에는 저장용기 및 지원 선박, 방제요원 등이 함께 동원된다. 따라서 파도가 심하거나 암초 및 해초 등의 장애물이 있는

환경에서는 사실상 방제작업이 불가하다. 그림 4는 오일펜서와 유회수기를 이용한 방제작업 장면이다.

유출 된지 오랜 시간이 지나서 유막이 얇게 확산되었거나 또는 소규모의 오염사고의 경우 유처리제를 사용하여 기름을 분산시켜 자연적으로 정화되게 한다. 유처리제의 살포는 선박을 이용하지만 대규모 오염의 경우에는 헬기나 고정익항공기를 이용하게 된다. 그 외 침몰 혹은 좌초 선박 내 잔존 유 회수 작업에는 바지선박을 비롯하여 해저작업용 ROV 등의 다양한 장비가 동원된다. 그림 5 ROV를 이용한 침몰선 잔존유 회수작업 장면이다.

4. 방제작업에 따른 로봇의 형태

이상과 같은 방제기술 및 장비의 성격에서부터 다음과 같은 몇 가지의 방제로봇을 기대할 수 있을 것이다.

4.1 정보수집용 해상관측 로봇

해양오염으로 인한 피해를 최소화하기 위해서는 오염의 사전예방이 무엇보다 중요하다. 따라서 대형 유조선이 출입이 빈번한 항구의 안전항로표지판의 설치 등의 하드웨어적인 부분과 더불어 오염 위험원에 대한 상시감시체계를 확립하고, 연안을 이동하는 대형유조선의 이동상태, 적재유종 및 부근해역의 풍향, 풍속, 조류, 해류 등의 해상 및 기상 정보 등을 실시간으로 모니터링 할 필요가 있다. 그

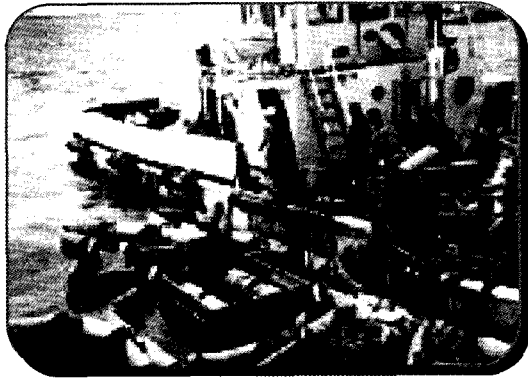


그림 4. 오일펜서와 유회수기를 이용한 유회수 작업



그림 5. ROV를 이용한 침몰선 잔존유 회수작업

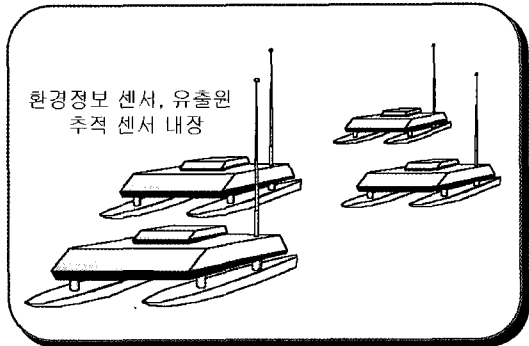


그림 6. 정보수집용 해상관측 로봇

러나 기존의 고정용 관측부이는 관측범위가 국한되어 있어 유출 위험 원을 추적할 수 없어 현장의 정확한 정보를 수집하는 데에는 한계가 있다. 따라서 기름센서, 환경정보수집용 센서 등을 내장한 해상이동용 관측로봇과 기존의 해경, 방제조합의 네트워크를 연결하는 감시망을 구축한다면, 사고발생 시, 보다 신속한 대응이 가능할 것으로 본다. 그림 6은 해상이동 관측로봇의 개념도를 나타낸다.

4.2 무인항공감시 로봇

선박을 이용한 오염 확산 감시의 경우 느리고 시계의 한계 등으로 기름띠를 노치기 쉬운 반면, 헬기나 고정익항공기 등을 이용한 항공감시의 경우 빠르고 정확한 감시 결과를 얻을 수 있다. 특히 헬기를 이용할 경우 고정된 위치에서의 연속적인 감시가 가능하다. 그러나 항공감시의 경우 별도의 이착륙공간이 필요하고, 이착륙장과 현장의 기상상태의 차이에 따라 실시간 협조를 얻기 어려운 점이 있으며 유지 및 관리비용이 많이 든다. 따라서 별도의 이착륙 공간과 조종사 등이 요구되지 않는 무

인항공기에 CCD카메라, 적외선 분석기 등의 관측장비를 갖춘 항공감시용 로봇이 개발된다면, 현장의 기상상태에 따라 운용될 수 있어 효율적인 방제 계획수립을 실시간적으로 지원할 수 있을 것이다. 그림 7은 항공감시용 로봇의 개념도를 나타낸다.

4.3 초동방제 및 해안근접방제를 위한 다목적 로봇

방제작업을 수행하는데 있어서 가장 중요한 것 중의 하나가 신속성과 기동성이다. 기동성이 확보되어야만 실질적인 초동방제가 가능하고 오염피해를 최소화 할 수 있다. 우리나라의 실정상 유출 사고 시, 가장 근거리에서 있는 방제선을 현장에 파견하는 데 최소한 30분 이상의 시간이 소요된다고 한다. 사고발생 후 30분 이내에 초동방제가 가능하도록 하기 위해 취급과 보관이 용이하면서 기동성 우수한 방제장비의 개발이 시급하다. 또한 사고해역의 수심이 낮거나 파도가 심할 경우 기존의 방제선을 이용한 방제에는 한계가 있다. 따라서 대형 방제선의 도착에 앞서, 기름의 확산을 막는 오일블

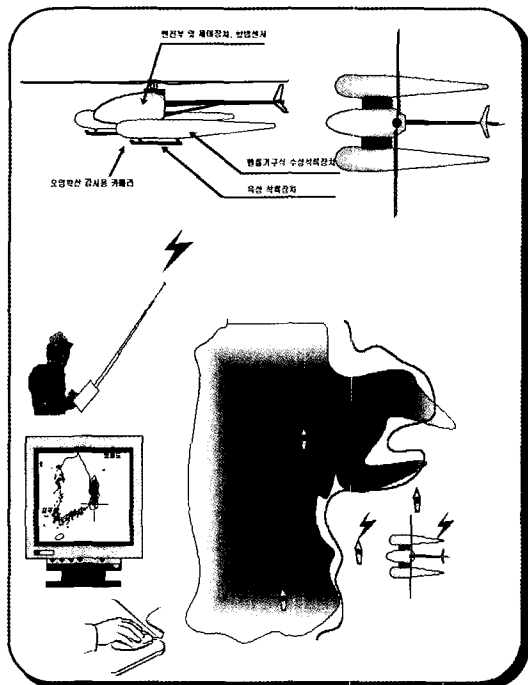


그림 7. 육·해상 이착륙가능한 항공감시로봇

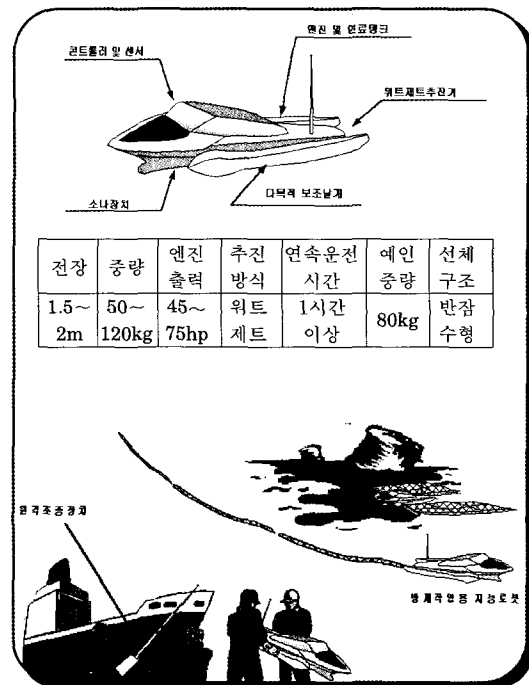


그림 8. 다목적 초소형 방제로봇

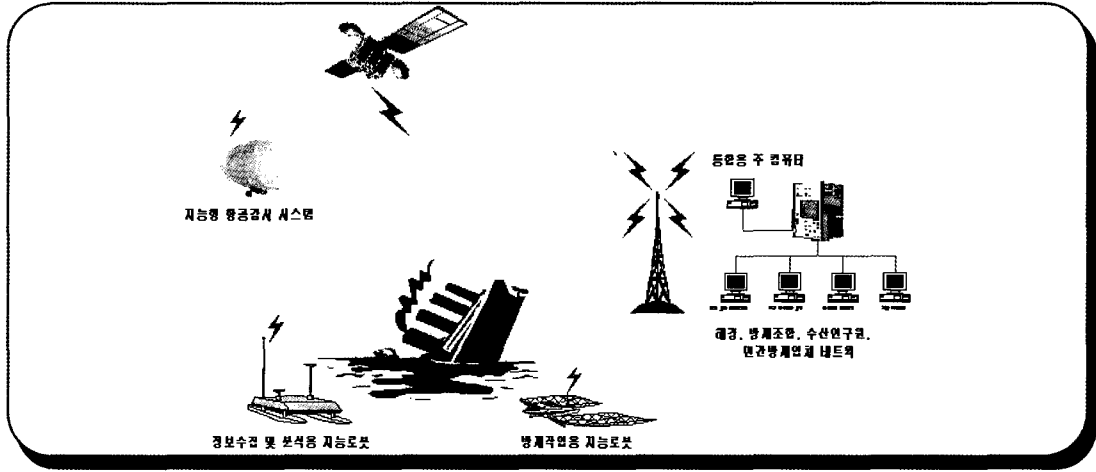


그림 9. 지능로봇을 근간으로 하는 통합방제지원시스템

을 전장하거나 유희수를 위해 기동성이 우수하더라도 환경적응력 탁월한 초소형 무인 방제보트의 개발이 요구되어진다. 그림 8은 초소형무인방제보트의 개념도와 이를 이용한 방제작업을 나타낸다.

이러한 초소형 무인 방제보트는 우선 사고발생 시 가벼운 유 흡착제의 전장을 통하여 오염 확산을 저지하는데 응용이 가능하며 기능에 따라 무선조종 혹은 자율적인 유희수작업에 투입될 수 있을 것이다. 이상과 같은 다양한 형태의 지능형방제로봇이 성공적으로 이루어진다면 기존의 해상유출사고 방제지원시스템[4] 등의 네트워크와 연계하여 그림 9와 같은 지능형 통합방제지원시스템의 구축도 상상해 볼 수 있을 것이다.

4.4 잔존 유 회수용 해저작업 로봇

유조선의 좌초 혹은 침몰과 같은 대형 사고 발생 시, 유출유뿐만 아니라 선박 내 잔존유의 처리는 추가 오염을 방지하는 중요한 작업이다. 이러한 작업에 있어서는 기존의 ROV를 이용한 예가 있다. 우리나라에서도 최근 침몰선 제1유일호 및 제3오성호의 잔존 유를 ROV의 도움을 받아 성공적으로 회수한 바 있다.

5. 방제로봇 개발을 위한 필요기술 및 과제

실제로 응용가치가 있는 방제로봇을 개발하는데에는 다양한 기술들이 적절하게 통합되어야 하며 해결해야할 과제도 적지 않다.

앞에서 언급한 방제로봇들은 공통적으로, 환경인식 시스템, 위치추정시스템, 이동용 추진장치 및 제어시스템, 통신시스템 등을 내장하여야한다. 이러한 로봇은 임무를 수행하고 있는 동안은 환경적으로 관리자로부터 고립되어져 있어 시스템에 필요한 전력을 자체에서 해결해야하는 자립형이동로봇(Self-contained Mobile Robot)이다. 따라서 전력공급을 위한 에너지원의 선택과 저 소비전력의 각종 센서 선택 및 신호처리회로 설계기술은 로봇의 임무수행능력과 직결된다. 이외에도 전자해도를 이용한 표시기술, 센서융합기술, 인터페이스 기술 등 다양한 기술을 요하게 된다.

이러한 공통적인 문제뿐만 아니라, 사용 환경 및 목적에 따라 고려되어야할 부분들이 많다. 해상 정보수집 및 감시용 로봇의 경우 저 소비 전력의 풍향계, 풍속계, 조류계, 파고계 등의 다양한 센서들이 장착되어야 하며, 바람이나 파도 등에 대해 잘 견딜 수 있도록 설계되어야 한다.

무인항공관측로봇의 경우 영상압축 및 전송 기술뿐만 아니라, 이착륙 및 조작성의 편의성, 항공법에 의한 중량, 엔진배기량, 고도제한 등의 제약을 고려해 시스템을 설계해야하므로 더욱 까다로워질 수 있다.

표2. 방제로봇 개발을 위한 필요기술 및 과제

로봇형태	요구되는 기술 및 과제		비 고
	공 통	개 별	
해상관측로봇	<ul style="list-style-type: none"> ● 기능 • 환경인식 기능 • 위치추정 기능 • 통신 기능 	<ul style="list-style-type: none"> • 장시간 연속운전을 위한 에너지 공급 • 자체고장 진단기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 적조 탐지 및 예측에도 응용가능
항공감시로봇	<ul style="list-style-type: none"> • 이동 기능 • 경로추종 기능 • 판단 기능 • 장애물 회피기능 • Fail Safty 기능 	<ul style="list-style-type: none"> • 경량화, 이착륙 편이성을 고려한 기체 설계기술 • 영상압축 및 데이터 전송기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 기체무게 12Kg 이상, 장착엔진 50cc 이상이면 신고대상(항공법 시행령 14조) • 고도제한 • 적조 탐지 및 예측에도 응용가능
초소형 다목적 방제로봇	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 • 센서신호처리 기술 • 센서융합 기술 • 저 소비전력의 시스템 설계 및 통합기술 • 데이터 통신 • 실시간 S.W 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 경량화, 능파성, 복원성을 고려한 선체설계 • 무선통신기술 • 방제장비 장착 • 경로계획 및 협조 알고리즘 	<ul style="list-style-type: none"> • 홍수 및 해난 사고시 인명 구조용으로도 응용가능
잔존유 회수용 해저작업 로봇	<ul style="list-style-type: none"> • 휴먼 인터페이스 기술 • 추론 기술 • ECU 개발기술 • 전자해도와 접목기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 수중통신기술 • 수중 엑츄에이터 기술 • 수중 물체조작 기술 • 내압 구조물 설계기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 타 해저작업에 응용가능

확산방지 및 유회수용로봇의 경우 목적이나 작업내용에 따라 규모와 형태에 있어서 약간의 차이가 있을 수 있다. 유출사고 시 대형방제선이 도착하기 전까지 오염 확산을 억제하기 위한 초동방제 목적이나, 암초나 해초 등 기타 장애물이 많은 해안선 인접 해역, 파도가 심한 날씨 등 특수 환경에서의 방제목적에 위한 로봇은 이동, 보관 등 유지 보수 및 관리가 용이하며, 기동성과 환경적응력이 좋아야한다.

잔존 유 회수작업은 해저에서 이루어지므로 앞서 언급한 여러 가지 과제들 외에도 고압에 견딜 수 있는 구조물 설계기술, 수중작업 및 통신기술에 대한 노하우가 요구되어진다. 표2는 로봇종류별 요구되는 기술 분야를 정리한 것이다.

6. 결 론

해상유출유로 인한 경제적 손실과 환경오염피해

를 최소화하기 위해서는 방제기술의 첨단화를 통한 국가방제능력의 극대화가 절실히 필요하다. 필자는 최근 급성장하고 있는 지능로봇기술의 해양오염방제 분야에의 응용을 기대하면서, 현재의 방제기술과 지원장비의 고찰을 통해 미래의 방제로봇의 모습을 정리해보고자 하였다. 해양 분야의 교육기관에서 로봇관련연구에 종사하는 하는 한사람으로서 해양오염방제분야에서 지능로봇이 중형무진 활약할 날이 하루빨리 오기를 간절히 기대한다.

참 고 문 헌

[1] 국가 지능로봇기술 발전 기본계획(안), 국가지능로봇 기술 종합발전기획위원회, 2001. 10
 [2] <http://www.kmprc.or.kr/main/bizmain.htm>
 [3] <http://kosap.kordi.re.kr/pollution/index.htm>
 [4] 해양오염방제 및 환경회복기술, 환경부, 2001
 [5] 방제실무지침, 한국해양오염방제조합, 2001