

건설기계의 메카트로닉스 연구개발 동향

Trend of Research and Development on Mechatronics for Construction Equipment

양순용 · 임태형 · 이민희 · 양진섭
S. Y. Yang, T. H. Lee, M. H. Lee and J. S. Yang

1. 서 언

증기기관이 철도 건설에 이용된 1800년대 이래 1940~1960년대 미국의 고속도로 건설 붐을 타고 본격적으로 개발된 불도저, 굴삭기, 모터 그레이더, 휠로더 등의 건설기계는 2005년 현재 국내에서 총 60,301대가 생산되었으며 지난 10년간 생산 증가율이 평균 11.57 %만큼 계속해서 시장 규모가 증가하고 있다.¹⁾

건설작업에 사용되는 로봇(Construction Robot)은 건축과 토목시공 분야로 분류할 수 있으며, 본 글은 건설기계에 국한하므로 건축분야는 제외하고 토목시공분야만 초점을 맞추어 기술하고자 한다. 토목시공에 주로 사용되는 장비가 건설기계²⁾, 자동화된 것을 건설용 로봇^{3,4)}이라 한다. 건설작업의 자동화 및 로봇화의 필요성에 대하여, 일본 산업용 로봇공업회에서 1990년대 설문조사결과에 의하면, 비제조업분야에 대한 업종별 로봇도입의 기대도는 표 1과 같다.⁵⁾

건설시공분야에 대한 건설기계가 이용될 수 있는 농업, 축산업, 임업, 상, 하수도 등의 분야까지 고려한다면 건설기계의 메카트로닉스화의 요구가 다양하게 존재한다는 것을 알 수 있다. 건설, 토목 분야에 대해 제품화된 건설작업로봇의 예를 살펴보면 표 2와 같다.⁶⁾

산업자원부 “차세대 로봇기반기술개발보고서”의 제품기술 마이크로 로드맵⁷⁾에 의하면 로봇요소기술이 충족되게 되면 궁극적으로 FIELD ROBOT으로 발전하게 될 것이다.

본 글에서는 건설기계의 메카트로닉스화에 대하여 선진국 및 국내의 연구 개발 사례를 소개하고자 한다.

2. 선진국의 건설로봇 연구개발 동향

건설로봇 분야는 1984년 매년 많은 국가들이 참가하여 국제회의가 개최되고 있으며 그 중 적극적으로 활동하는 국가별로 고찰하였다.

표 1 과제수에 의한 분야별 로봇화의 기대도

분 야	과제수	쓰레기처리, 청소	45
건설, 토목	163	연구개발	43
의료, 복지	74	우주	37
농업, 축산업	73	전력(송전, 발전)	36
서비스업, 기타	72	교육(학교)	23
수산, 해양개발	70	광업	21
소방, 방재	62	통신	21
임업	56	가스	15
원자력	47	상, 하수도	8
운수창고	45	상업, 유통	5
계			918

표 2 건설작업로봇의 예

구분	적용분야	명 칭
건설	조성공사	돌쌓기로봇
	구체공사	철근건방로봇, 철근용접로봇, 철골내화피복로봇, 중앙철근용배근로봇, 철근조립로봇, 프레스싱 로봇, 프레스크레인, 콘크리트 수평 distributor, 콘리스크레인, 콘크리트바닥수평로봇, 콘크리트바닥마무리로봇, 자주식다기능로봇, 플로어브러싱머신, 외벽판넬부착로봇, 벽면판넬부착로봇
	마무리 공사	천정마무리작업로봇, 사이로리폼시스템, 사이로내장스프레이도장로봇, 초고층외벽도장로봇, 고효율도장시스템, 외벽도장로봇
	검사	타일박리검지기, 관내수평주행장치, 외벽자동검사기, 관내수직주행장치, 외벽타일진단로봇, 가스관내자동검사로봇, 크린룸검사로봇, 벽면검사로봇
	청소	덕트청소로봇, 자주식바닥청소로봇, 창단이로봇
토목	해양	해양조사잠수기
	댐	댐용자동식형틀, 댐콘크리트자동차설시스템, 댐콘크리트무인운반시스템
	터널	콘크리트분무로봇, 세그먼트자연조립로봇, 실드굴삭작업시스템, 전자동유압착암기, 터널단면자동입체측정시스템
	도로	자동도로공사시스템
	교각	형틀승강재로봇
	교량	로봇화도장시스템
	검사	굳어짐계측시스템

2.1 미국

연구개발의 대부분이 대학을 중심으로 이루어지고 있으며 로봇화를 위한 방법론적인 연구가 많다. Stanford 대학은 CIFE(Center for Integrated Facilities Engineering) 연구 프로젝트를 중심으로 연구가 이루어지고 있으며 Robotics & Computer Science의 협력 하에 토목 관련 로봇화를 연구 중에 있다. MIT 대학은 군수산업에 적용되는 연구를 많이 하고 있는데 ICAM(Integrated Construction Automation Methodology)라는 연구 프로젝트 중심으로 연구가 진행되었으나 현재는 저조한 상태이다. Carnegie Mellon 대학은 로봇 분야 연구 프로젝트를 대규모로 행하고 있으며 그 중 일부로 건설을 포함한 지능 이동형 로봇 연구가 행하여졌다.⁸⁾ 내용은 인간의 행동에 가까운 건설용 매니플레이터, 네비게이션을 포함한 센싱 기술의 개발, 원자로 격납 용기내 점검수리 로봇 등이다. Texas 대학은 Tucker 교수가 주도하여 CII(Construction Industry Institute)를 통해 산학협력연구를 진행 중에 있으며 Bechtel사와 공동 개발한 건설부재 Handling용 거대 Remote Control Arm과 로봇작업을 검토할 3차원 그래픽 시뮬레이터가 개발되어 있다. Purdue 대학은 Skibniewsky 교수 중심으로 자동 주행용 청소, 도장을 위한 로봇을 개발하였고, 그 외 미시건, 펜실베이니아, 조지아 대학 등을 중심으로 연구가 진행 중에 있다.

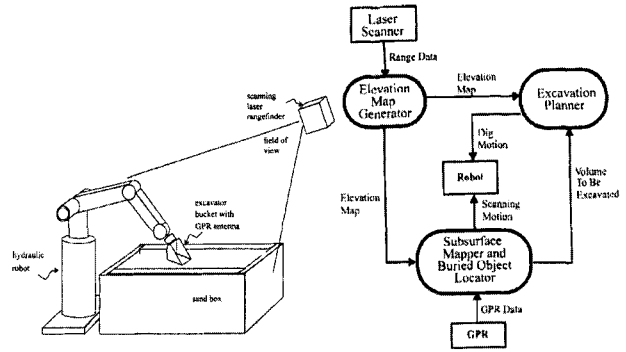


그림 1 Carnegie Mellon대학의 굴삭대상 스캐너

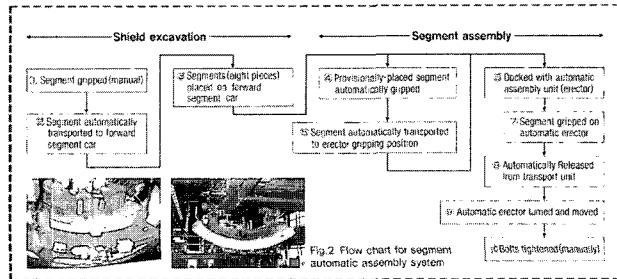
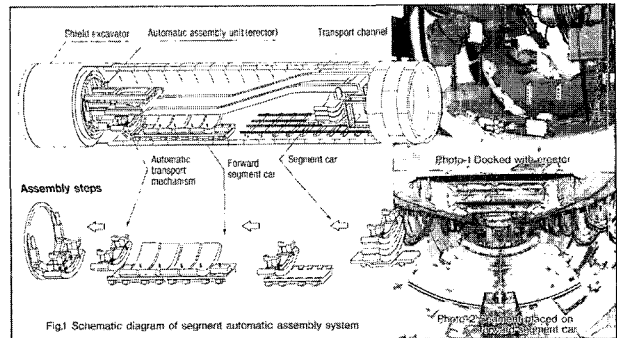


그림 2 Segment Automation Robot

2.2 일본⁹⁾

거대 건설업체를 중심으로 한 산학연관 공동 연구가 많고, 특정 작업에 대한 로봇화가 30여년간 이루어져 왔다. 일부는 상품화되어 현장에서 활약하고 있다. 건설로봇의 대한 개발의 주체가 곧 상품의 end user가 되는 구조로 바람직한 개발방향이다.¹⁰⁾ 젊은 기능 노동력이 부족한 상황에서 건설회사의 건설로봇에 대한 연구개발이 활발히 이루어져 건설 현장 공정의 약 30% 가량에서 로봇이 활약 중에 있다. 대표적인 예는 도시의 지하 공사에 이용되는 세그먼트의 운송, 조립작업의 자동화에 이용되는 실드작업 로봇(그림 2)으로 지하철 공사용 직경 10 [m] 이상의 큰 직경에서 중소형 직경까지의 세그먼트에 대한 개량과 기기의 소형화에 대한 로봇이 상용화되어 도심의 도로 밑 공간에 대한 로봇화로 인해 매설된 케이블과 관로의 보수 작업에 도로를 파지 않아도 되고 지하 공간을 지하주차장, 식량저장고, 하수처리장, 빗물저장소, 쓰레기 처리장 등으로 활용할 수 있는 장점이 있다.

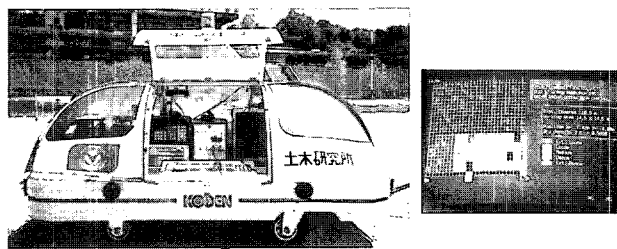


그림 3 지하 작업용 로봇

지하 관로 내의 수리, 작업 등을 수행하는 지하 작업용 로봇의 외관 및 작동 화면을 그림 3에, 돌쌓기 로봇을 그림 4에, 터널 내의 스프레이 작업에 이용되는 로봇과 작업 모습을 그림 5에, 조립식 주택의 벽면을 조립하는 로봇과 작업 모습을 그림 6에 나타내었다. 이외에도 최근에는 휴먼로이드를 이용한 건설기계의 원격제어^{11,12)} 등 다수의 제품이 있다.

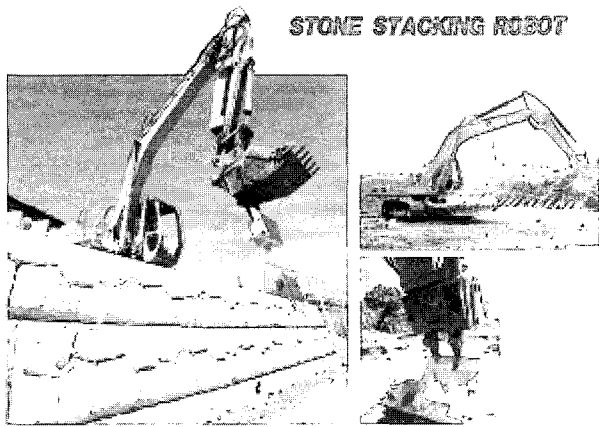


그림 4 돌쌓기 로봇

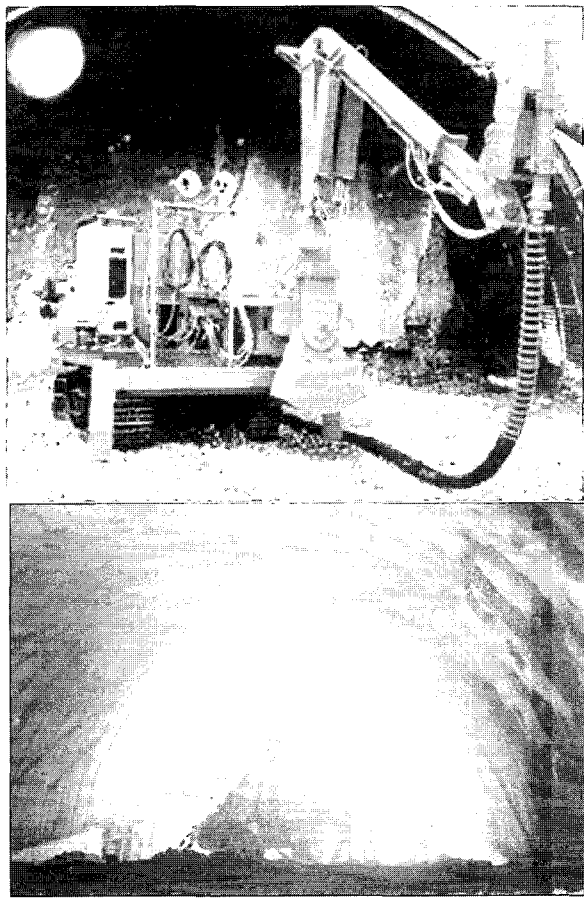
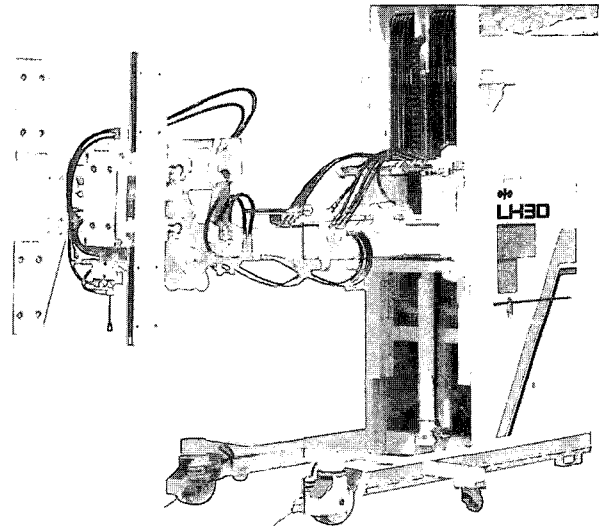


그림 5 터널 내 스프레이 로봇

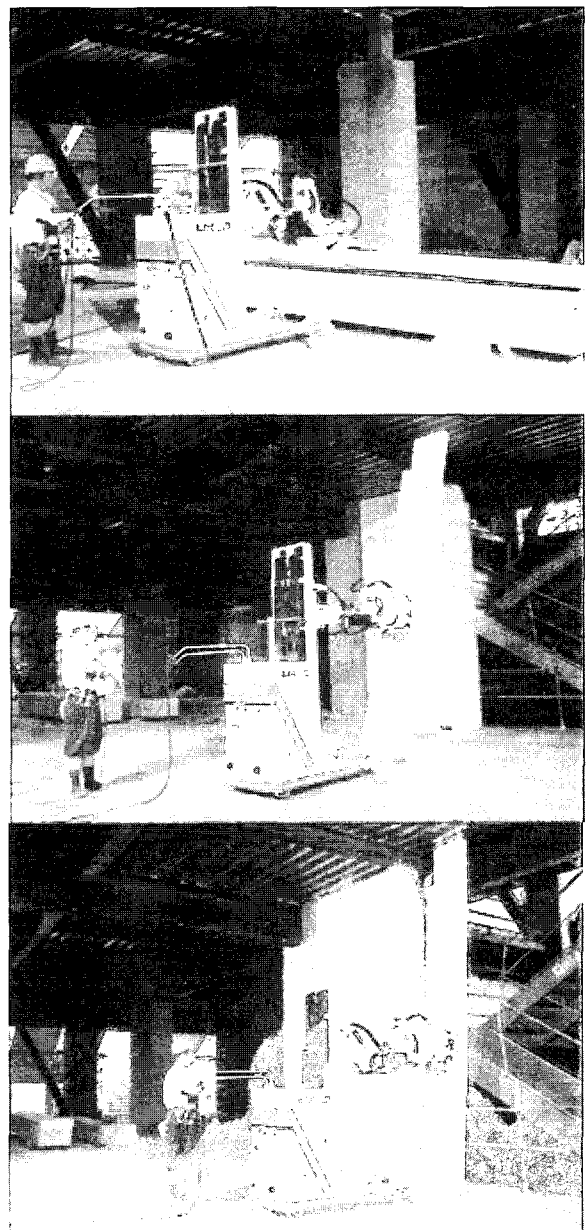


그림 6 조립식 주택의 벽면 조립 로봇

2.3 독일

Stuttgrat 대학 부속의 생산자동화 연구소(IPA)가 건설공사 로봇화의 수요와 개발사례의 조사를 행하고 초대형 매니플레이터를 개발하였고 Thomson 사는 Long reach 대형 매니플레이터를 개발하였으며 O.Coppel사는 CAL(Computer Aided Loading) 시스템을 구비한 유압구동 굴삭기를 개발한 바 있다.

2.4 호주

시드니 대학의 ACFR(Australian Center for Field Robotics) 센터를 주축으로 일부 건설로봇의 연구를 추진중에 있다. 그림 7은 시드니 대학에서 연구중인 굴삭기를 이용한 Field Robot이다.¹³⁾

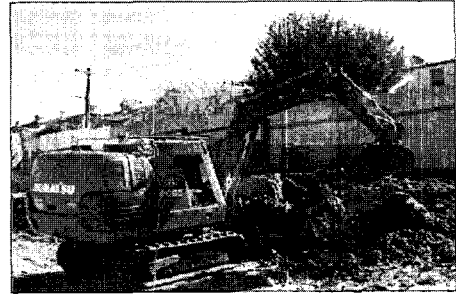


그림 7 시드니 대학의 Field Robot

2.5 프랑스

건축과학기술센터(CSTB)의 J.L.Salagnac, 국립로봇-인공지능연구소(IIRIAN)의 C.Girand, 클루노블 국립기술연구소의 J.L.Crowly 등이 중심이 되어 건설로봇의 연구를 추진 중에 있다.

2.6 영국

Bristol 공과대학은 Cusak 교수를 중심으로 건설로봇의 현장 도입의 가능성 연구와 로봇화에 적합한 건물의 설계 방법에 대해 연구를 수행하고 있고 Nottingham 대학은 인공지능을 이용한 건설공사의 계획방법을, Rnacaster 대학은 그림 8에 나타난 바와 같이 자동굴삭기 시스템을 개발 중에 있다.¹⁴⁾ 또한 Wales 대학은 이동로봇의 네비게이션 연구와 철골교량의 Stand bolt 용접로봇에 대한 연구가 진행 중이다.



그림 8 Rancaster 대학의 LUCIE

2.6 캐나다

British Columbia 대학의 Field Robot Center의 Peter D. Lawrence, S. E. Salcudean 교수를 중심으로 미니 굴삭기의 원격조작, 비전 시스템, 시뮬레이터, 시스템 규명을 이용한 자코비안 도출 등의 연구를 진행 중이다.

3. 국내 개발 사례

국내의 건축 시공 분야에서는 한국 건설연구원을 중심으로 활발하게 연구가 추진 중에 있으며 사례로 일본과 유사한 콘크리트 마무리 작업용 로봇이 시운전 되고 있다. 건설기계 자동화, 특히 자동굴삭 분야에서는 건설기계 제작 업체를 중심으로 현대중공업, 두산인프라코어(구 대우건설기계), 볼보건설기계(구 삼성중공업)등에서 메카트로닉스 붐을 타고 1990년대 이후 많은 제품을 개발하였다. 현재는 부분적인 메카트로닉스 적용을 실시하고 있는 실정이지만, 산학연관 협동으로 첨단 건설기계의 발전을 위해 많은 투자를 하고 있다.¹⁵⁾

여기서는 국내 연구 개발동향 중에서 일부분인 현대중공업과 울산대학교와 산학협동 연구된 사례를 중심으로 간략하게 기술한다.

3.1 크레인 기능 부착형 유압굴삭기

유압 굴삭기를 이용한 크레인 작업도 병행하고 있다. 불법인 굴삭기의 크레인 작업으로의 재해는 굴삭기 재해의 약 38%에 이르고 있는 실정이다. 이를 해소하기위한 신기능인 크레인 기능 부착형 유압굴삭기의 연구를 하였다. 특허맵의 기법을 통해 분석된 특허의 분류는 그림 9와 같다. 양산화에서의 특허 분쟁을 피할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안하여 시스템에 적용, 전도율을 계산하여 표시하며 위험시 운전자에게 경고하는 시스템¹⁶⁾으로 그림 10은 개발된 시스템의 구성도와 표시 화면이다. 붐 실린더의 압력을 이용하여 인양 하중을 계산하고 하중과 작업장치의 각변위에 따른 전도 위험도를 나타낸다.

3.2 굴삭기용 지하매설물 탐지 시스템

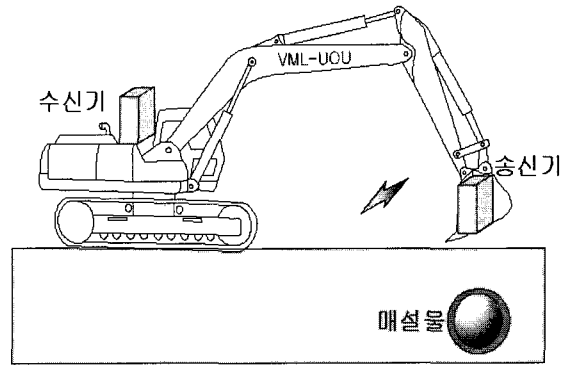
도심에서의 굴삭 작업시 지하 매설물인 수도관, 가스관 등과 버켓 끝단과의 충돌로 인한 사고가 발생하므로 그림 11과 같이 굴삭기에서 지하 매설물을 탐지할 수 있는 시스템을 개발하였다.¹⁷⁾

3.3 굴삭기용 Hardware In the Loop System(HILS)

굴삭기 관련 연구논문에 대한 연구맵을 작성, 분석하였다.

작업장치의 경우 Lagrange식으로, 비선형성이 강

한 유압 회로는 저차의 모델로 모델링한 후 강인 제어를 설계하여 실차 시험 결과와의 비교를 통해 제적 제어 및 원격 조작 등이 있었다. 비교적 모델링 오차가 적은 작업장치는 수학적 모델을 이용하고 모델링 오차가 큰 엔진-유압회로는 실제의 유압 요소를 이용하는 HILS¹⁸⁾를 개발하였다. 유압 요소는 붐 실린더를 대상으로 하였으며 작업장치 자중에 의한 힘 및 버킷에 담긴 흙의 유·무, 땅 표면, 크레인 작업시의 부하 등 실린더에 작용하는 외부 힘을 붐 실린더에 가하기 위한 Force operating cylinder를 붐 실린더와 직렬 연결하였고 실린더 변위를 측정하기 위해 기보유 중인 Stroke Sensing Cylinder를 이용하였다.¹⁹⁾



(a) 시스템 개념도

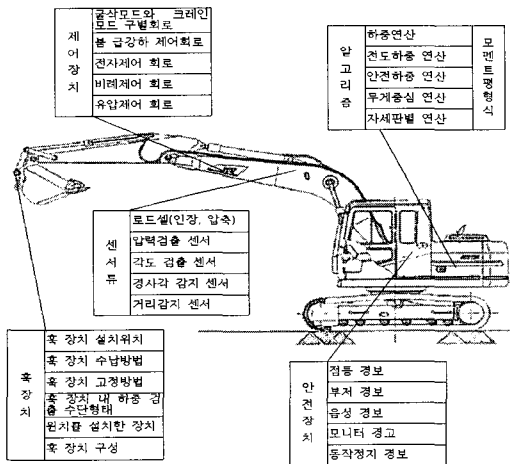
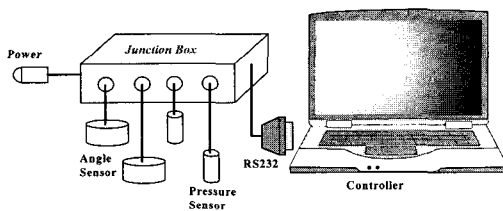
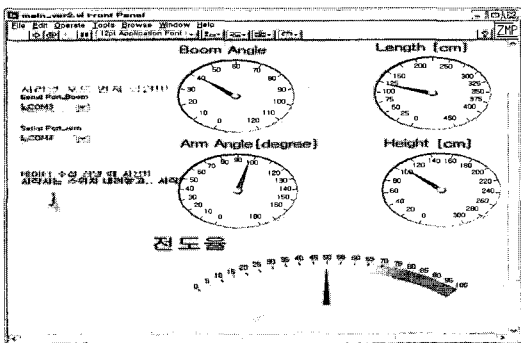


그림 9 크레인 부착형 굴삭기의 특허분류

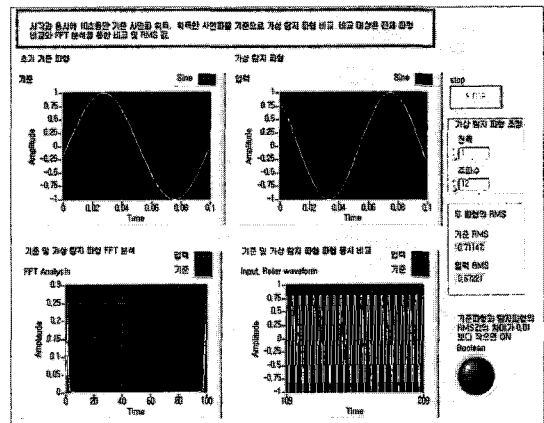


(a) 시스템 구성



(b) 구동 S/W의 예

그림 10 크레인 기능 부착형 굴삭기 시스템



(b) 구동 S/W의 예

그림 11 지하 매설물 탐지 시스템

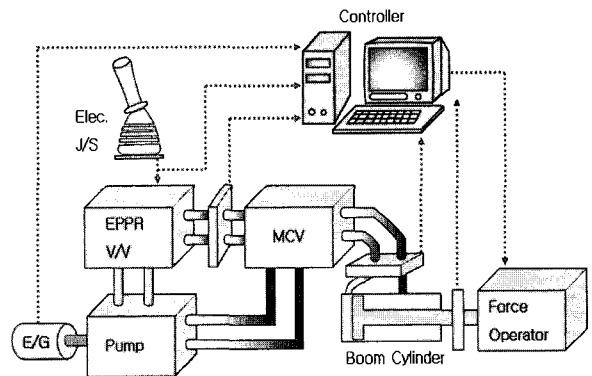
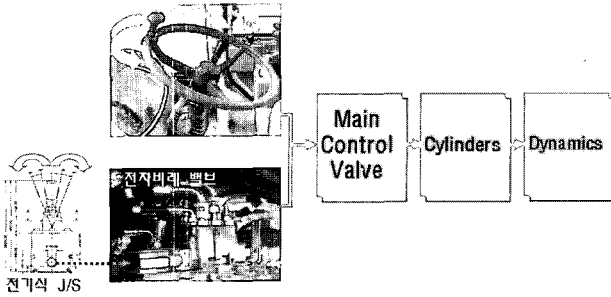


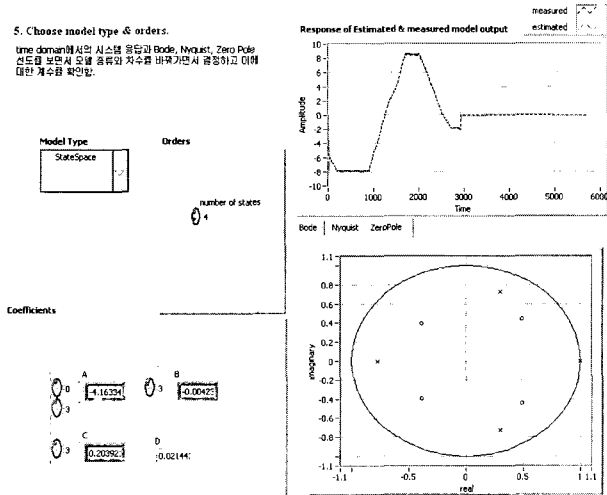
그림 12 굴삭기용 HILS

3.4 휠로더용 조이스틱 스티어링 시스템

V형태의 적재를 반복하는 휠로더의 경우 자동차와 마찬가지로 스티어링 휠로 반복 조향할 경우 작업자의 피로가 누적되므로 전기식 조이스틱을 이용한 스티어링 시스템을 그림 13과 같이 개발하였다. 또한 스티어링 휠에 비해 작동 속도가 월등히 빠른 조이스틱의 응답 특성을 향상시키기 위해 전기식 조이스틱의 출력 신호를 변화시킬 수 있는 시스템을 개발하였다.²⁰⁾



(a) 시스템 개념도



(b) 구동 S/W

그림 13 조이스틱 스티어링 시스템

3.5 하이브리드 굴삭기 시스템

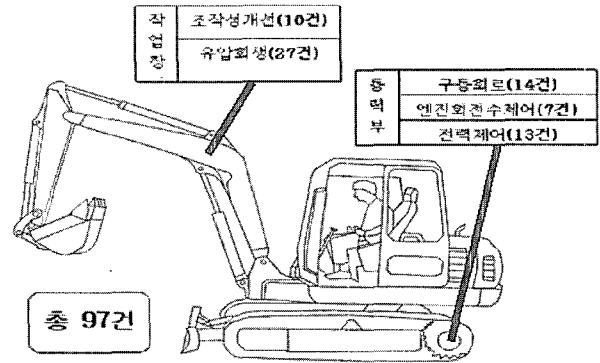
하이브리드 굴삭기를 개발하기 위한 기초 단계로 특허맵을 구축하여 그림 14와 같이 분석하여 최적의 회로를 도출하였다. 시뮬레이션을 위해 상용 S/W인 AMESim을 이용하여 작업장치, 엔진, MCV, 펌프, 실린더 등을 모델링하여 시뮬레이터를 개발하였다. 하이브리드 굴삭기의 개별 요소들을 개발하기 위한 연구를 수행 중에 있다.

4. 결 언

이상과 같이 건설기계의 메카트로닉스의 개발 동향에 관하여 선진국의 경우 건설로봇의 개발동향, 국내의 경우 건설기계의 자동화에 대하여 사례중심으로 살펴보았다.

건설용 로봇에 관하여 향후 방향을 기술할 수도 있지만 주제에 벗어나므로 참고 문헌을 참조하는 것으로 양해를 구한다.

본 연구실에서는 건설기계의 자동화를 위하여 FIELD ROBOT의 개념으로 지속적인 연구를 수행 중에 있다.



총 97건

작업장		구동회로(14건)	
조작성개선(10건)		엔진회전수제어(7건)	
유압회생(27건)		전력제어(13건)	
동력부			
차량컴팩트화		동력부냉각	
차체안정화		작업모니터링	
승전계 소형화		보조배터리	
전기배선수 감소		단 품	
기타 (9건)		기타 (15건)	
복합(2건)			

그림 14 하이브리드 굴삭기 시스템 분류

후 기

본 연구결과는 현대중공업과 울산대학교의 산학협동 연구에 의한 것입니다. 현대중공업의 지원에 감사 를 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) “한국건설기계공업협회 협회지”, 1995~2006.
- 2) 이홍선, “건설기계의 신기술 동향분석”, 울산대학교 강연, 2000.
- 3) 양순용, 안경관, “유압굴삭기에 관한 유압시스템 및 메카트로닉스 개발동향”, 울산대학교 RRC 산학강좌, 2003.
- 4) 양순용, “건설용 로봇의 현황과 향후과제”, 울산대학교 RRC 산학강좌, 2003.
- 5) 일본 산업용 로봇공업회 설문조사.
- 6) 長谷川辛男, “建設用ロボットの現状と今後の課題”, 日本ロボット學會誌, vol. 8, no. 2, 1990.
- 7) 산업자원부, “차세대 로봇 기반 기술 개발”. 기획보고서, 2001.10.
- 8) S. Singh and A. Kelly, “Robot Planning in the Space of Feasible Actions : Two Examples”, Proc. of the 1996 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 3309~3316, 1996.
- 9) 産業用ロボット導入便覧 (仕様, 利用實例) -非製造業-, 日本産業用ロボット工業會, 1994.
- 10) 長谷川辛男, “建設作業システムロボット化の現状と諸課題”, 油壓と空氣壓, 제22권, 제3호 pp. 20

8~215. 1991.

- 11) 田中雅則외 1인, “油壓ショベル”, 建設機械, 제39권 제 7호, pp. 52~56, 1995.
- 12) 柳原好孝, “人間型ロボットによる建設機械の作業評価實証實驗”, 日本ロボット學會講演概要集, pp. 230, 2003.9
- 13) Q. P. Ha, Q. P. Nguyen and H. F. Durrant-Whyte, “Fuzzy Sliding-Mode Controllers with Applications”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 48. No. 1. pp. 38~46, 2001.
- 14) D. Seward, F. Margrave, I. Sommerville and R. Morrey, “LUCIE the Robot Excavator-Design for System Safety”, Proc. of the 1996 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 963~968, 1996.
- 15) 첨단 건설기계 발전 심포지움, 부산대학교 기계기술연구소, 2004.11.5.
- 16) “크레인 기능 부착형 유압 굴삭기 개발”, 결과보고서, 2004.
- 17) “굴삭기용 지하 매설물 탐지 시스템 개발”, 결과보고서, 2005.
- 18) 임태형, 이홍선, 양순용, “유압굴삭기 시뮬레이터 개발”, 유공압시스템학회지, 제2권 제1호 pp. 9~14, 2005.
- 19) “굴삭기용 Hardware In the Loop System (HILS) 개발”, 결과보고서, 2005.
- 20) “휠로더 조이스틱 스티어링 응답특성에 관한 연구”, 결과보고서, 2006.

[저자 소개]



양순용(책임저자)

E-mail : soonyy@mail.ulsan.ac.kr

Tel : 052-259-2820

1955년 02월 17일생

1979년 부산대학교 기계설계공학과 졸업, 동대학원 석사(1981), 일본 동경대학교 석사 (1987), 동대학원 박사(1997), 1982년~1985년 한국 동력자원연구소 연구원, 1992년~1998년 삼성중공업 수석연구원, 1998년~현재 울산대학교 기계자동차 공학부 교수, Field Robot(건설기계자동차), Silver Robot 개념설계 및 제어, Soft Finger의 피지제어, 유압제어, 차량 메카트로닉스의 연구에 종사, 한국공작기계학회 편집위원, 유공압시스템학회 편집이사, 일본로봇학회, 일본자동차공학회, 한국자동차공학회, 한국정밀공학회, 제어자동화시스템공학회 등의 정회원

[저자 소개]



이민희

E-mail: minilee@hhi.co.kr

Tel : 052-230-8803

1960년 9월 1일생

1985년 인하대학교 기계공학과 졸업, 동년 현대중공업 입사, 1992년 아주대학교대학원 졸업, 대학 졸업 후 건설기계개발 관련 종사, 유공압시스템학회, 대학기계학회 회원

[저자 소개]



임태형

E-mail : bulbaram@mail.ulsan.ac.kr

Tel : 052-259-2731

1974년 10월 20일생

2001년 울산대학교 자동차 공학과 졸업, 2003년 울산대학교 기계자동차공학부 대학원 석사 졸업, 현 울산대학교 박사과정 재학중

[저자 소개]

양진섭

현 현대중공업 건설사업본부 부장.