

## 로보틱스 교육

李 範 熙

(正 會 員)

서울대학교 工科大学 制御計測工學科 助教授

### I. 서 론

자동화의 개념은 종래의 hard automation에서 flexible automation으로 변천되고 있다. 급변하는 시장수요에 대처하기 위한 기업간의 경쟁으로 다품종 소량 생산체제의 필요성이 대두되고 있으며, 품질의 균일화 및 고부가가치화를 통한 기업이윤의 증대가 기업의 생존여부를 판가름 하는 단계에 와 있다. 이러한 상황에서 높은 생산성(productivity)과 유연성(flexibility) 및 효율성(eficiency)의 중요성이 제품생산의 적시적량의 관점에서 대단히 중요하게 인식되고 있으며 이들의 실현을 위한 공장 자동화(factory automation)의 필요성이 크게 대두되고 있다.

공장자동화를 이루는 중요한 요소로서는, flexible manufacturing system(FMS), CAD/CAM system, interface 시스템, 정보관리 시스템등으로 대별될 수 있으며, 이중 가장 핵심이 되는 부분은 FMS이다. FMS는 여러개의 flexible manufacturing cell(FMC)의 조합으로 구성되며, 이 FMC의 기본요소 중의 하나가 robot manipulator라고 볼 수 있다.

Robot manipulator는 유연성을 제공해 주는 핵심 기계장치로서 다양한 프로그래밍 기법을 통해 부품의 이송, 조립, 검색 등을 할 수 있는 mechatronics 기술의 총아로 알려져 있다. Robotics는 로봇트를 포함하여 주변기계장치 및 시스템 결합기술에 관한 전반적인 내용을 포함한다고 볼 수 있으나, 작은 의미에서는 로봇트에 관련된 역학이나 제어, 관련 센서 및 이용방법 등을 포함한다고 볼 수 있다.

현재 국내에서의 로보틱스 교육은 10여개의 대학에서 학부 및 대학원 과정의 교과목을 통하여 이루어지고 있으며, 매우 빠른 속도로 로보틱스 전공과

정의 대학원 학생수가 증가하고 있다.

이에 비례하여 각종 학술회의에서의 로보틱스 관련 연구 논문편수의 증가는 전기전자공학의 어느 분야보다도 높다고 볼 수 있으며, 각종 연구소 및 기업체 부설 연구소에서의 로보틱스 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 아직 몇몇 기술 분야에서는 선진국과의 기술격차를 보이고 있으며, 로보틱스 교육역시 국내 정착기간이 짧다는 관점에서 여러가지 애로사항이 표출되고 있다.

그러나 다행스러운 것은 최근 로보틱스 교육이 여러 전공분야에서 이루어지고 있다는 점이며, 자동화 공학과나 제어계측공학과와 신설이 늘어나고 있다는 상황이다. 이러한 상황에서 국내의 로보틱스 교육의 현황을 살펴보고, 내재된 문제점을 고찰해 보며 로보틱스 교육의 활성화 방안을 제고하여 본다는 것은 큰 의미를 갖는다고 보겠다.

### II. 로보틱스 교육의 개요

로보틱스는 일반적으로 로봇트 시스템 자체가 지니고 있는 종합적이고 복합적인 특성을 내포하고 있는 학문분야로써, 방대하면서도 깊이있는 전문적 지식을 필요로 하고 있다. 따라서 다른 응용학문 분야와는 달리 로보틱스 교육은 로보틱스 관련 공학분야의 폭넓은 지식을 체계적으로 습득하고, 응용발전시킬 수 있는 기본지식을 전수함에 그 목적이 있다고 하겠다. 로보틱스 교육 자체가 근본적으로는 자동화 교육의 일환으로 인식될 수도 있으나, 로봇트 시스템이 자동화 시스템 혹은 자동화 기기의 한 중요요소일 뿐, 개괄적인 자동화 교육과는 다소 거리가 있다.

로보틱스 교육의 주요내용은 피교육자의 지식분야나 단계, 그리고 관심 응용분야에 따라 차이점이 있을 수 있으나 본 장에서는 대학 및 대학원에서의 로보틱스 교과과정을 중심으로 서술하고자 한다. 로보틱스 교육의 주요 교육항목은 크게 두가지로 분류될 수 있는 바, 그 하나는 로봇 시스템 자체에 관한 기구학(kinematics), 동력학(dynamics), 궤적 및 경로 계획(trajjectory and path planning) 및 운동제어(motion control) 등으로 나눌 수 있으며, 또 다른 하나는 로봇 시스템 운용에 관한 센싱(sensing), 로봇 비전(robot vision), 프로그래밍(programming) 및 작업계획(task planning)등이다. 이를 도식적으로 나타내면 그림 1 과 같다.

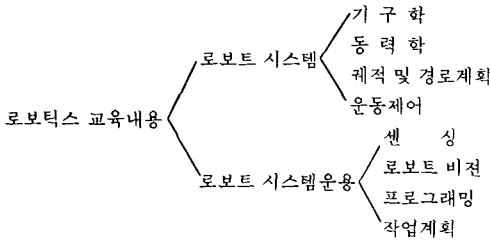


그림 1. 로보틱스 교육내용

로봇 팔(arm)에 대한 기구학에서는 관절에 부과되는 힘이나 토크(torque)를 고려치 않은 상태에서 고정된 기준 좌표계에 대한 로봇 팔 혹은 손끝의 위치를 파악하는 수학적 분석을 다룬다. 특히 관절좌표계(joint coordinate system)와 직교 좌표계(carfesian coordinate system) 사이의 수학적 상호관계가 다루어지며, 여기에는 두가지의 기본적인 문제인 정기구학(forward kinematics)문제와 역기구학(inverse kinematics) 문제가 있다. 정기구학에서는 각 관절의 위치 각도가 주어졌을 때 손끝의 위치(position) 및 자세(orientation)를 계산하게 되며, 좌표 변환을 위한 homogeneous transformation matrix를 도입하여 사용한다. 역기구학에서는 반대로 손끝의 위치 및 자세가 주어졌을 때 그것을 이루기 위한 각 관절의 각도를 계산하게 되며, 그 방법으로는 inverse transform 방법이나, 반복방법, 기하학적 방법 등이 채택된다.

로봇팔의 동력학에서는 로봇 매니플레이터의 동적동작을 묘사해 주는 로봇 팔의 운동방정식에 대한 유도과정 및 유도결과에 대해 강의된다. 유도과정은 채택방법에 따라 또한 기본 수학적 표시(notation)에 따라 다소 차이가 있을 수 있으나, 유도결과는 근본적으로 같은 수식으로 표현된다는 점이 강의되며, 이러한 운동방정식은 로봇 팔의 동력학을 이용한 기구학적 설계 및 구조의 평가에 사용된다. 이러한 운동 방정식의 수립방법에는 Lagrangian 역학을 기초로 한 Lagrange-Euler 방정식이나 Newtonian 법칙에 기초를 둔 Newton-Euler 방정식, d'Alembert 법칙에 기초를 둔 Generalized-D'Alembert 방정식 등이 있다. 또한 주요 관심사가 동력학 모델을 구하는데 요하는 시간이므로 각각의 방법들에 대한 계산시간의 비교 및 각 방정식들의 특성등이 강조된다.

로봇 매니플레이터의 궤적 및 경로 계획은 로봇의 제어이전에 선택되어야 될 경로를 결정하고 그 경로를 추적할 수 있는 각 관절의 시간별 위치정보를 결정하는 과정이다. 로봇이 추적해야 할 공간상의 경로는 여러가지 성능지수에 의해 선택되어짐이 강조되며 방해물이 있는 경우와 없는 경우를 분리하여 선택되는 과정이 강의된다. 또한 선택된 경로를 각 관절이 추적하기 위하여 궤적 계획이 실시되는 바 크게 점간운동(point to point motion)과 연속경로운동(continuous path motion)으로 대별된다. 즉 선택된 경유점을 로봇이 통과하도록 관절보간(joint interpolation)의 여러가지 방법들이 논의되며, 각 관절의 최대허용 속도, 가속도 및 저크(jerk)를 고려한 궤적 계획 방법들이 논의된다. 여기서는 실제 움직임의 주체는 각 관절의 모터인데 반하여, 주 관심사는 로봇 팔 끝의 중심임이 강조되며, 궤적 계획시 동력학적인 조건을 고려하는 과정이 강조된다. 다시말해 궤적 계획에서는 경로명세(path specification) 및 경로제약조건(path constraints), 그리고 매니플레이터의 동적제약 조건을 입력으로 하여, 시간을 매개 변수로 하는 관절좌표상의 위치, 속도, 가속도를 구하는 과정이 중점적으로 강의된다.

로봇의 운동제어(motion control) 문제는 매니플레이터의 동적모델을 구하는 문제와 구해진 방정식 모델을 이용하여 실제 시스템의 응답 및 성능을 얻기 위한 각종 제어법칙의 개발 및 적용하는 문제로 나뉘는 바, 방정식 모델은 동력학으로부터 구한 방정식을 사용한다. 실제 적용되는 산업용 로봇의 경우 두

오크(torque) 제어방식이 아닌 관절위치 제어방식이 적용되고 있음이 강조되며, 이러한 제어방식에 대한 각종 수치들의 개략화 및 문제점, 그리고 로봇트 제어기의 구조(architecture)등이 강의된다. 로봇트의 운동제어 방법은 관절 좌표계상에서의 운동을 제어한다는 관점에서 필요한 관절변수 값들을 구하여 제어방식에 이용하는 관절 운동제어(joint motion control), 로봇트의 손끝 중심의 위치와 자세가 정해진 궤적을 따라가도록 성능지수를 선정, 손끝 중심의 위치 및 자세가 계획된 정보와 가장 근접하도록, 성능지수를 이용하여 각 관절의 오차분을 보상해 주는 resolved 운동제어, 그리고 적응제어 이론을 이용한 적응제어(adaptive control), 최적제어 방식의 문제점, 힘 제어방식 등 여러 제어방식이 교육되며, 각각의 방식들에 대한 여러가지 이론들이 소개된다.

로봇트 센싱(sensing)에서는 로봇트와 연관되어 쓰이는 각종 센서들의 종류, 특성 및 기본원리가 다루어진다. 로봇트용 센서는 대별하여 내부상태(internal state) 센서와 외부상태(external state) 센서로 나누어진다. 내부상태 센서로는 로봇트 각 관절의 위치 및 속도를 감지하는 부호기(encoder) 및 potentiometer가 있으며, 외부 상태 센싱의 방법으로는 range 센싱, proximity 센싱, touch 센싱, force/torque 센싱등이 강의되며 각 센싱방법들의 종류 및 동작원리등이 강의된다. 특히 조립작업에 유용하게 사용될 수 있는 force/torque 센서의 원리 및 관계식이 유도되며, visual 센싱은 그 범위가 광대하므로 보통 로봇트 센싱부분과는 별도로 교육이 이루어 지고 있다.

로봇트 비전은 2차 및 3차원 영상으로부터 부품의 위치 및 자세정보를 추출하여 로봇트 제어기에 제환시켜 줌으로써 로봇트 동작계획이나 작업계획을 할 수 있게 하여 주는 부분으로서 그 적용범위가 날로 확대되어 가고 있다. 기존의 컴퓨터 비전과는 달리 신뢰성, software 및 hardware의 간략성 및 저가격성, 고속계산 등이 요구되며, 그 기본 교육내용은 대별하여 영상처리(image processing) 과정과 고수준전(high level vision)으로 나누어진다. 영상처리 과정은 영상추출을 위한 조명방법들과 그 특성이 교육되며, 카메라의 모델링, 화소(pixel)들 간의 기본관계식, 그리고 preprocessing 등이 교육되며, 고수준비전에서는 물체와 background를 분리시키는 segmentation, 추출된 형상의 특징을 얻는 과정인 각종 description의 descriptor들, 묘사된 특징을 중심으로 물체의 구체적 종류를 판별하는 recognition, 그리고

주변과의 관계 혹은 물체들간의 관계를 규명해 주는 interpretation 등이 교육되며 3차원 물체의 segmentation과 description도 아울러 교육된다. 영상 처리 및 고수준 비전 자체가 하나의 연구 영역을 이루고 있는 실정이므로, 이 부분의 교육에서는 로봇트비전에 관련된 기본 지식 및 방법들 만을 다루고 있다.

로봇트 프로그래밍에서는 로봇트의 운용을 위한 각종 로봇트 언어의 종류 및 특성이 교육되며, 로봇트 시스템과 사용자(user)간의 효율적인 의사소통을 위한 기본 프로그래밍 과정이 강의된다. 여러 종류의 언어들이 존재하므로 특정언어에 대한 사용자 프로그램의 몇가지가 소개됨으로써 프로그램 구성방법을 제시하고, 실제로 off-line 상에서 프로그래밍 기법을 가급적 익히도록 한다. 일반적으로 로봇트와의 의사 전달을 위한 접근 방법에는 이산 단어인식(discrete word recognition), 교시 및 동작재생(teach and playback), 그리고 고수준의 프로그래밍언어(high level programming language)가 있는바, 주요 교육대상인 프로그래밍 언어는 로봇트 중심의 프로그래밍 언어와 작업중심의 프로그래밍 언어로 대별된다. 또한 각 분류내에 여러 종류의 로봇트 언어가 존재하며, 그 기능 및 특성, 장단점이 서로 다르므로 실제적으로 프로그래밍 언어 시스템을 설계하기 위한 기본사항만이 교육되기도 한다.

마지막으로 로봇트의 작업계획이 있는 바, 로봇트가 미리 정해진 작업을 수행하기 위한 계획 문제가 교육되며, 관련된 인공지능의 교육내용 일부가 강의된다. 여기서 계획이란 로봇트가 동작을 시작하기 이전에 동작의 원인을 결정하는 단계를 의미한다.

이러한 계획 문제를 풀기 위하여 각종 탐색(search) 방법들과 문제풀이(problem-solving) 시스템이 도입되며, 실제 로봇트에 적용한 예들이 교육되고 있다.

이상에서 설명된 주요 교과목 내용들은 필요에 따라서 각 내용마다 교육의 심도차이가 존재할 수 있으며, 다양한 내용이면서도 그 교육내용 및 응용연구에 대한 내용이 점차 깊어져 가고 있다고 보인다.

### III. 로보틱스 교육 현황

산업용 로봇트의 국내 도입 역사가 얼마되지 않은 상황에서, 최근 로보틱스에 대한 관심과 자동화 추진업체들의 증가에 힘입어, 로보틱스에 관한 연구결과가 관련 학술회의에 폭넓게 대량으로 발표되고 있다. 아울러 로보틱스에 관한 교육도 국내에서 10여개 기관에서 이루어지고 있다. 짧은 연구 역사로 인한 고기

술의 미비, 재원의 부족 및 연구인력의 부족 등 여러 가지 문제를 내포하고 있는 현실이지만, 자동화 추진 추세와 함께 많지 않은 로봇틱스 연구인력의 부단한 노력의 결과로 여러부분에서 바람직한 연구경향이 보이고 있다. 본 장에서는 국내의 로봇틱스 교육의 현황을 몇개 기관의 교과목을 중심으로 고찰하여 보고, 주된 교육내용을 알아본다.

전반적으로 국내에서 로봇틱스 교육의 인력 및 장비체제가 미흡하며, 10여개 기관을 제외하고는 로봇틱스 교육은 전혀 이루어 지고 있지 않다. 학계의 경우 서울대를 살펴보면 제어계측공학과를 중심으로 로봇틱스 교육이 이루어지고 있으며 부분적으로 기계설계공학과에서도 진행되고 있다. 제어계측공학과에 개설 및 운용되고 있는 교과목으로는 학부 4학년 과정인 <로봇공학개론>이 있고 대학원 과정에는 <로봇공학>, <지능로봇공학>, 그리고 <로봇공학특강>이 있다. 학부과정인 <로봇공학개론>에서는 로봇의 동작원리 및 설계방법, 자동화공정에서의 산업용로봇의 응용에 관한 최근의 연구동향 및 기술적인 문제를 다루며 강의내용은 로봇공학의 기본개념, 로봇 손의 동작원리 및 구성, 로봇의 감각 및 구동기기, 로봇 시스템의 제어기 원리 및 구성, 로봇언어, 산업용 로봇의 응용과 자동화 기술 등이다. 대학원 과정의 <로봇공학>에서는 산업용 로봇에 관한 기초 및 응용에 관한 이론 및 실제적인 설계방법을 강의하며, 이 과정의 주요내용은 우선 산업용 로봇의 구조와 조작을 비롯하여 환경과의 상호작용, 로봇 비전의 기본원리 및 기본개념, 언어 및 프로그래밍기법, 작업계획 및 로봇 지능에 대한 이론적인 교육과 함께 인공지능의 로봇공학에의 응용에 관한 최근의 학문적 동향이 교육된다. 또한 <지능로봇공학>에서는 로봇지능, 로봇공학 관련 화상처리 및 컴퓨터 비전, 센서응용, 로봇 비전 응용시스템, 등이 교육되며 자동화 시스템에의 응용을 중심으로 본 로봇공학이 교육된다. 또한 <로봇공학특강>에서는 로봇공학 관련 연구내용 중 첨단 기술 및 경향이 각종 내용의 선택에 따라 교육되며 특히 직접구동 로봇, AGV, 원격조정 로봇 등이 현재의 관심사로 되어 있다.

한편 한국과학기술원(KAIST)에서는 1984년부터 매년 1 학기에 전기 및 전자공학과에서 <로봇제어>라는 교과목을 개설, 로봇틱스 교육을 하고 있다. 석사과정 학생을 대상으로 하는 로봇틱스 교육은 전기 및 전자공학과 학생뿐 아니라 생산공학 및 기계

공학을 전공하는 학생들도 수강하고 있다. 강의 내용은 서울대의 <로봇공학> 교과목과 비슷한 내용이며 2~3가지의 교과서의 채택으로 수행되고 있다. 또한 KAIST에서의 로봇틱스 교육은 로봇에 관련된 내용을 석·박사과정의 그룹세미나를 통하여 발표하는 제도가 있으며 주로 석·박사 과정의 졸업논문에 관한 사항이 토의된다.

학교 및 연구기관 이외에 로봇틱스 교육이 실시되고 있는 한국생산성본부(KPC)가 있으며 1987년 이후부터 단기과정으로 현실적응 능력배양의 관점에서 실기교육을 중심으로 교육이 수행되고 있다.

교육대상은 산업체 근무자들이며 FA 담당위원회의 강사진들에 의해 강의가 이루어지고 있으며 주로 기계공학을 전공하신 강사들에 의해 교육이 수행 중에 있다. 주된 교육내용은 로봇의 실제 응용이 가능하도록 로봇의 구조 및 제어방법이 교육되며 응용 기술에 활용될 수 있도록 실기 위주의 현장 중심교육이 이루어지고 있다.

학교 혹은 연구기관에서 직장인을 위한 로봇틱스 교육은 KAIST에서 84년, 85년 '공장자동화를 위한 로봇틱스'라는 제목으로 단기강좌가 수행되었으며, 서울대의 경우 매년 여름「직장인을 위한 계속교육」의 일환으로 '로봇공학'의 강의가 이루어지고 있다.

#### IV. 로봇틱스 교육의 개선방안

본 장에서는 국내의 로봇틱스 교육 현황에 대한 문제점 및 개선방안을 고려해 본다. 이미 밝힌 대로 로봇틱스 교육이 국내에 정착된 기간이 매우 짧음으로 인해 적지않은 개선책이 요망되고 있으며 이중 몇가지를 고려해 보면 다음과 같다.

첫째, 로봇틱스 교육의 특성상, 기본원리에 대한 교육이후, 현장 응용에 대한 교육이 수행되어야 한다. 현장 응용에 대한 교육은, 피교육자들로 하여금 직접 로봇을 운용할 수 있도록 하여야 하며 이를 위해서는 프로그래밍 기법 및 응용과정이 필수적으로 수반되어야 한다.

둘째, 로봇 시스템 자체가 효율적으로 사용되기 위해서는 주변장치와의 결합이 무엇보다도 중요하다. 따라서 이를 위해 각종 주변 장치와의 인터페이스(interface) 및 시스템 구성기술이 로봇틱스 교육에 포함되어야 한다. 즉 공장자동화의 한 요소로서 로봇을 고려하고, 주변기계 장치와의 연계 및 시스템 총합화, 모델링등이 로봇틱스 교육 프로그램에

삽입될 필요성이 있다. 이를 위해서는 주변기계 장치들의 기본적인 특성 및 동작원리 등이 교육될 필요가 있다.

셋째, 로봇트 시스템의 구조상, 기계공학 전공자들에게는 전자공학의 기본과목인 전자회로, 디지털 회로 및 응용회로 구성, 모터의 구동방법 및 아나로그 디지털 회로의 인터페이스 방법등이 기본적으로 교육되어야 하며 전기전자공학(제어계측공학 포함) 전공자들에게는 로봇트 매니플레이터 시스템의 설계 기법, 감속기의 구성 및 동작원리, NC기계를 비롯한 주변기계 장치의 구성 및 동작원리 등이 교육됨이 바람직하다.

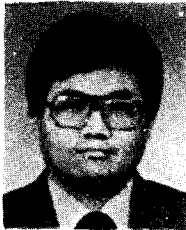
넷째, 학교 혹은 연구기관의 로봇틱스 교육은 필수적으로 실험교과목의 신설 및 운용을 필요로 하고 있다. 현장응용의 관점에서 실험 교과목은 대단히 중요하며 외국의 경우 미국의 Purdue대학 전기과를 비롯한 몇개의 기관에서 실험교과목을 운영하고 있다. 1학기당 보통 6가지 정도의 기초실험이 이루어지고 있으며 교과목의 수준은 학부 4학년 및 대학원생에 맞도록 되어 있다. 물론 각종 센서 시스템의 사용법도 익히게 되어 있으며 현실적으로 실험교

과목의 신설을 위해서는 로봇트 시스템, 콘베이어 벨트 시스템, 전용 감시용 컴퓨터 시스템, 비전시스템 및 각종 센서 시스템이 교육기관에 구비되어 있어야 하며 강사진 역시 각종 실험 및 관련된 기기 조작에 익숙한 자들로 이루어져 있어야 가능하다.

다섯째, 로봇틱스 교육은 로봇트 시스템 및 제어기 자체가 하나의 mechatronics 기술의 집합체로 볼 수 있으므로, 피교육자들로 하여금 간단한 로봇트 시스템에 대한 제작 및 제어기 시스템의 구성을 하도록 하여 제어기의 원리 및 각종 기계적 매니플레이터의 동작원리 및 구성기법을 익히게 할 필요가 있다. 이러한 과정 혹은 단기간 프로젝트(term project)의 운영이 로봇트 시스템에 대한 피교육자들의 이해를 훨씬 더 구체적으로 확충시킬 것이기 때문이다.

이상에서 열거한 몇가지 개선방안은 바람직한 로봇틱스 교육의 지표아래 고려된 것이며, 이들의 실현은 교육기관만의 노력 보다는 근본적 제환(feedback)을 바라는 현장기업들의 다각적인 지원을 필요로 함은 두말할 나위도 없다고 보겠다. (8)

筆者紹介



李 範 熙

1955年 5月 29日生

1978年 2月 서울대학교 전자공학과 졸업

1980年 2月 서울대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1985年 미국 Univ. of Michigan, 전기과 로봇트공학 연구실(공학박사)

1980年 3月~1981年 8月 중앙대학교 전자공학과 전임강사

1982年 5月~1985年 7月 미국 Univ. of Michigan, Center for Robotics and Integrated Manufacturing 연구원

1985年 8月~1987年 1月 미국 Purdue Univ. School of Electrical Eng. 조교수

1987年 2月~현재 서울대학교 제어계측공학과 조교수

관심분야 : 로봇틱스 및 자동화 등