

KIST 유럽연구소 이슈페이퍼

[RoboSoft 2025 참관 후기]

소프트 로봇 기술 최신 동향 및 실제 사용을 위한 기술 성숙도 전망

김웅배 박사 / Senior Researcher / AI 융합 Cluster



woonbae.kim@kist-europe.de

[Resource @ www.pexels.com/pavel-danilyuk]



■ 들어가며

‘소프트 로봇공학(Soft Robotics)’은 유연한 재료를 활용해 부드러운 동작이 가능한 로봇을 연구하는 로봇공학의 한 분야다.

일반적인 로봇은 금속 재질로 만들어져 차가운 이미지를 연상시키지만, 소프트 로봇은 연속적이고 유연한 구조를 통해 기존의 로봇이 수행하기 어려운 섬세한 작업이나 복잡한 환경에 적응할 수 있는 것이 특징이다. 문어 다리, 코끼리 코 등 생물의 움직임을 모방하거나, 나무의 성장 방식, 종이접기 원리, 착용 가능한 웨어러블형태 등 자연에서 영감을 받은 다양한 형태로 개발되고 있다.

소프트 로봇은 가볍고 유연한 소재로 제작되며, 사람과 상호작용에서 안전성 보장을 중시한다. 이를 바탕으로 의료, 재활, 제조, 재난 구조, 환경 탐사 등 다양한 분야에서 적용 가능성이 점차 확대되고 있다.

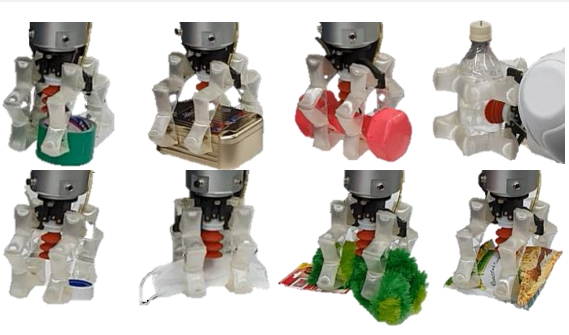
소프트 로봇만을 다루는 국제 학회인 ‘RoboSoft’는 2018년 이탈리아에서 처음 개최되었으며, 2025년 4월 스위스에서 8회 행사가 열렸다. 비교적 짧은 역사에도 불구하고 소프트 로봇공학은 빠르게 성장하고 있다. 본 보고서에서는 RoboSoft 2025 학회를 통해 소프트 로봇 분야 연구 동향을 소개하고, 기술의 일상 적용 가능성을 진단하고자 한다.

소프트 로봇 연구 동향

1. 높은 기술 성숙도: 그리퍼, 웨어러블, 바이오메디컬

소프트 그리퍼, 웨어러블 로봇, 바이오메디컬 로봇은 소프트 로봇 기술의 실제 응용을 목표로 연구가 집중되고 있는 대표 분야이다.

① 소프트 그리퍼는 과일이나 생선 살처럼 손상되기 쉬운 물체를 안전하게 집어 옮기는 용도로 사용되며, ② 웨어러블 로봇은 손, 팔, 다리에 착용해 움직임을 보조하거나 햅틱 피드백 및 마사지 기능을 제공하는 데 활용된다. ③ 바이오메디컬 로봇은 혈관이나 장기 내부에서의 수술 및 치료 보조 등을 목표로 하며, 심장 펌프나 호흡 보조, 전극 도자 절제술 등 다양한 의료 응용 사례가 발표되었다.



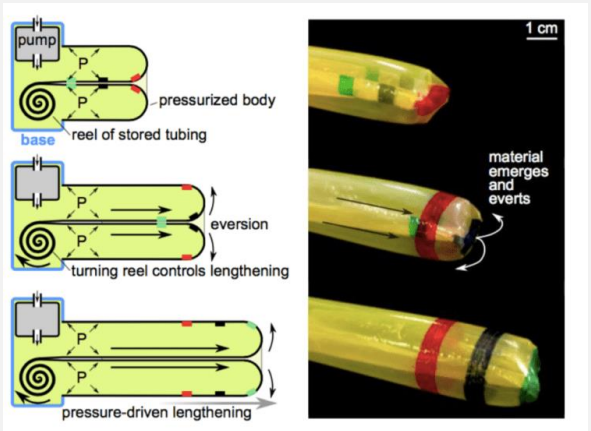
[그림 1. 도메인의 다양한 물성에 따라 그리퍼의 적응적 파지 사례 @ KIST 유럽연구소]

이번 학회에서는 이들 세 분야가 개별 세션으로 구성될 만큼 연구의 양적 증가가 뚜렷하게 나타났다. 특히, 강화학습 및 시뮬레이션을 활용해 복잡한 조작을 수행하려는 시도, 그리고 재난 구조와 같은 극한 환경 적용 사례 등 기술 적용 범위가 점차 확장되고 있는 추세로 판단된다.

다만, 발표된 연구의 대부분은 기술 성숙도(TRL) 기준으로 실험실 수준(3~4단계)에 머물러 있으며, 시제품 수준 이상(5단계 이상)의 연구는 제한적이었다. 또한 제품화에 필요한 가격, 사업성, 사용 편의성 등 비기술적 요소에 대한 논의는 상대적으로 부족한 것으로 보였다. 그럼에도 응용 중심 연구의 확대는 소프트 로봇 기술이 실생활에 점차 가까워지고 있음을 보여주는 신호라 할 수 있다.

2. 라이징 스타: 성장 로봇과 연속체 로봇

기술 성숙도와는 별개로, 향후 다양한 분야로 확장 가능성이 높은 주제들도 주목을 받았다. 대표적으로 성장하는 로봇(Growing Robot)과 연속체 로봇(Continuum Robot)이다. 성장하는 로봇은 스탠퍼드 대학의 '덩굴 로봇(Vine Robot)'을 대표 사례로 들 수 있다. 얇은 필름이나 방수직물 등을 공기압으로 밀어내며 끝부분이 자라는 구조로, 수십 배 이상 확장 가능하며 좁고 복잡한 공간에 접근할 수 있는 장점이 있다. 이번 학회에서는 성장 제어, 가지 분화, 구조 강성 변화, 소형화 등 다양한 사례가 발표되었다. 또한, 3D 프린팅 방식으로 성장하는 로봇, 종이접기 원리 기반의 변형 로봇 등 새로운 형태들도 소개되었다.



[그림 2. 덩굴로봇 원리, Copyright © 2020 Blumenschein, Coad, Haggerty, Okamura and Hawkes.]

연속체 로봇은 고무 튜브, 디스크 구조, 종이접기 패턴 등 다양한 구조를 기반으로 유연한 팔 형태를 구현하는 로봇이다. 일반적인 로봇팔과 달리 각 관절에 모터를 직접 배치하지 않고, 케이블을 당겨 움직임을 제어하는 모터-텐던 방식이 주로 사용된다. 이러한 구조는 모델링과 제어가 복잡하지만, 학회에서는 운동학 모델링, 시뮬레이션, 최적화 설계를 통해 정밀한 제어를 시도한 연구들이 다수 소개되었다.

이 외에도, 새나 곤충의 날갯짓을 모사한 드론, 텐세그리티 구조의 경량 로봇, 물고기와 해파리를 모방한 수중 탐사 로봇 등 신개념 소프트 로봇 기술들도 발표되었다.

3. 해결하여야 할 이슈

소프트 로봇은 일반적으로 규격화된 기계 요소들을 조립하여 제작되지는 않는다. 대신 주조, 3D 프린팅, 재봉, 열 압착, 접착, 합성 등 다양한 방법을 통해 제작되며, 종종 최신식 제작 장비나 신소재가 사용되기도 한다. 또한 규격화된 플랫폼이 거의 없어 유사한 목적으로 제작된 로봇이더라도 형태와 동작 원리 등이 상이한 경우가 많으며, 구동 방식도 상이하다. 하나의 관절을 각각의 구동기로 조절하는 것이 아니라 공압이나 케이블을 통해 연속적인 몸체를 조작하므로, 사소한 물성이나 정밀도의 차이가 다른 동작으로 이어지기 쉽다. 이러한 특징은 현재까지 소프트 로봇을 실험하고 평가하기 위한 표준화된 벤치마킹의 부재와 연구 그룹 간 설계 및 제작 결과를 동일하게 얻기 어려운 재현성 문제로 이어지고 있다. 나아가 소프트 로봇의 벤치마킹과 재현성 문제는 궁극적으로 제품화와 실제 사용을 위한 발전에 걸림돌이 될 수 있을 것이다.

도전과제와 전망

RoboSoft 2025 학회에서는 앞에서 언급한 표준화 및 벤치마킹 이슈 해결을 위한 별도의 워크숍이 개최되었다. 이 워크숍에서는 연구 책임자 및 다양한 이해 관계자들도 함께 참여했고, 참가자 간 활발한 논의가 이루어졌으며, 문제 해결을 위한 다양한 방안들이 제시되었다. 예를 들어, 데이터셋 뿐 만 아니라 설계 도면과 제작 과정을 충분히 공유하고, 논문의 실용성에 집중하는 평가 방식의 도입, 실용성 중심의 특별 호나 논문집 발간 등이 논의되었다.

이러한 논의가 다른 소프트 로봇 분야에 비해 큰 관심을 받지는 못하고 있지만, 앞으로 소프트 로봇 기술이 더 성숙해지면 자연스럽게 이 문제에 대한 관심도 높아질 것으로 예상된다. 나아가, 이러한 기술적 난제 해결 노력이 응용 연구의 심화와 병행된다면, 소프트 로봇이 머지않아 우리 일상생활 속에 깊숙이 자리 잡게 될 것으로 기대된다. 



[사진 1. 김웅배 박사 타운홀 미팅 구두 발표, '소프트 로봇의 재현성' © KIST 유럽연구소]