



마이크로 그리퍼 기술의 현황

- 박세리는 과연 마이크로 필드에서도 쉽게 우승할 수 있을까? -

오 현 석

엘지생산기술원 공학박사

서론

지난 98년에 독일 하노버 자동화전시회에서 일어났던 일로 기억된다. 어느 장비제조업체에서 엄지 손가락만한 마이크로 로봇을 만들어서 그로 하여금 손가락만한 접시(골프장)위에서 지름이 약 1밀리미터 정도 되는 골프 공을 계속해서 치도록 훈련을 시키고 있었다. 조그만한 골프 로봇이 하도 신기하여 유심히 살펴본 바, 그 골퍼가 일단 마이크로 공(작고 작은 공)을 치면 곧 그 공이 접시의 한 가운데에서 가장자리 쪽으로 쳐 올려지고, 중력에 의해서 다시 접시의 중심쪽으로 미끄러져 내려오게 되어 있었다. 그러면 그 골퍼는 자신의 연습을 계속할 수 있었다. 그런데 더욱 나의 관심을 끈 것은, 이 골퍼가 치는 공의 2/5 정도가 골프체에 그대로 붙어서 제대로 떨어지지 않아서 접시의 가장자리로 날아가지를 못했다. 오히려 골프체에 치-억 달라 붙어 이리저리 끌려 다녔다는 편이 더 정확하겠다. 그 골퍼의 매니저는 이에 대해 아직까지 해결하지 못한 난제라며 매우 난처해 하는 모습이었다.

이 골프장에 박세리가 등판을 했다면 과연 그가 마이크로 필드에서도 쉽게 골프를 칠 수 있었을까?

이에 대한 정답은 참고문헌[1, 2, 3]을 참고하기 바란다.

“골퍼가 골프채로 공을 홀에 넣는다”는 이 동작은 생산 기술 측면에서 보면, 하나의 물체를 집어서 지정된 위치로 이동시켜 집어넣는 조립공정에 해당한다고 볼 수 있다. 현재 마이크로시스템에 관한 연구개발 동향을 살펴보면, 이 골프공 자체를 만드는 기술에는 너도나도 열심히 노력하는데, 정작 이 공을 홀에 집어 넣기까지의 문제에 대해서는 비교적 관대하게 방치해 두는 편이다. 실제로 필드에서의 관심은 골퍼의 조립숙씨에 더 집중되고 있지만 수년 전에 헐리웃에서 제작된 공상과학영화에서는, 크기가 작아지는 주사를 맞고서 눈에 보일락말락하게 작아진 사람들이 초소형 잠수함을 타고 인체 속에 들어가서 각종 세균들과 전쟁을 벌이는 거짓말 같은 장면들을 보여주어서 우리의 관심을 끌었다[5]. 하지만 이러한 마이크로 필드에서는 거시적 세계(오늘날 우리들의 평상시 생활)에서는 느낄 수 없고 볼 수가 없었던 희한한 물리적인 현상이 발생하게 된다. 이 영화에서는 그러한 것을 간과했지만... 이러한 현상의 원인은 이른바 **표면효과(Surface Effects)**라고 알려져 있는

데 [1, 2, 3, 4, 6] 이에 대해서는 참고문헌[4, 6, 28]을 통해 자세히 접하기 바라며, 본고에서는 이러한 현상을 해결하기 위한 시도에 대해 기술하기로 한다.

마이크로조립(Microassembly)에서는 정밀가공 기술이나 마이크로 시스템 기술상 그 크기가 수 마이크로미터(μm)에서 대략 10mm까지의 범위에 놓이는 최소 부품들의 고정도 조립기술이 주요 관심사이다. 마이크로 조립기술상의 주요문제는 그에 상응해서 요구되는 고정도, 거시적인(macro) 조립에 비해 변형된 역학 관계 및 극소 부품들의 외부 자극에 대한 높은 민감성들이다.

거시적인 조립(Macroassembly)에 비추어 마이크로 조립에서는 **표면효과(Surface effects)**에 의해 야기된 어떤 예상치 못한 부품들의 거동이 그 핵심문제로 등장할 한다. 즉 다루어지는 부품들의 크기가 작아짐으로써, 여기에 중력과 같은 **부피효과(Volume effects)**가 줄어드는 반면에 표면장력이나 정전기 대전과 같은 **표면효과(Surface effects)**가 특히 그 영향을 미치게 된다[4].

이들 표면효과 외에도 주어진 정확한 조립을 위해서는 건물의 진동, 온도변화 및 먼지입자의 공기오염 등과 같은 환경에 의한 영향 등이 배제되어야 한다[1].

그 밖에 마이크로 조립기술과 함께 묶여져 아직도 더 풀어야 할 과제들은 굉장한 시간을 소비하면서 실험실 규모의 프로토타입 생산이 수작업으로 진행되고 있는 현실인데, 여기에는 부분적으로 극복되지 못한 기술들이 있어서, 하나의 자동화되고 따라서 비용절감에 기여하는 조립기술은 아직도 요원한 실정이다.

지금까지 마이크로 조립용의 산업용 자동화장비가 거의 없었던 관계로 여기에 대한 연구개발의 요구가 아직도 상당히 큰 편이다[7, 8].

따라서 여기서는 마이크로 시스템의 생산시 마이크로 부품들의 조립에서 야기되는 문제점들에 대해 살펴보기로 한다.

1. 초미세 조립(Microassembly)용 그리퍼의 조건

초미세 조립에 있어서의 문제설정[1-3]으로부터 아래와 같은 초미세 조립에 필요한 그리퍼의 조건을 구할 수가 있다.

- 표면력들의 영향 제거
- 청정실 환경
- 그리퍼의 쥐는 힘에 의한 손상의 방지
- 대상 물체의 재료에 관계 없이 처리할 수 있어야 하며
- 고도의 핸들링 정도
- 쥐는 힘의 보존

이에 근거해서 초미세 부품들의 취급(핸들링)에 적당한 그리퍼를 개발할 수가 있다.

1.1. 표면력들의 영향제거

역학적 부품들의 초미세 조립에서의 특수한 문제는 그 크기가 1mm이하에 놓이는 부품들이다. 이미 앞서 설명된 바와 같이 이들 크기의 부품들은(운반하려는 물체들) 더 이상 자중에 의해서, 즉 중력에 의해서, 그리퍼의 턱으로부터 아래로 떨어지지 않는다는 현상과 밀접한 관계가 있다.

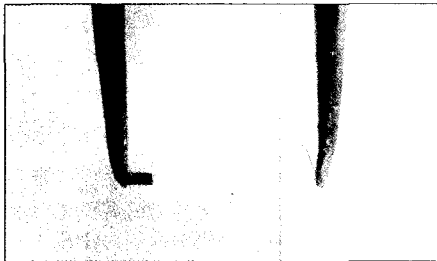


그림 1. 마이크로 부품을 집을 때 발생하는 표면력의 영향

이들 조그마한 부품들의 크기에서는 중력보다도 더 영향력을 크게 발휘하는 상호작용력은 그리퍼의 입을 벌리게 한 다음에도 이들 미세 부품들이 그리퍼의 턱에 달라붙어 있게한다[그림1]. 여기에는 반-테르-발스힘, 모세관 힘, 그리고 정전기력이 중요한 역할을 한다. 따라서 마이크로 그리퍼의 결정적인 역할은 이들 표면력들의 영향을 해제하는 기구(메커니즘)를 갖고 있어서, 취급(핸들링)하려는 물체를 그리퍼로부터 간단히 떨어질 수 있도록 하는 것이다. 이들 표면력의 영향을 줄이기 위해 여러가지 방법들을 사용할 수가 있다[3]. 구슬형태의 그리퍼 손을 써서 정전기력과 표면장력의 영향을 줄일 수가 있는데, 보다 자세한 내용은 문헌[4]를 참고 바란다. 그러나 아직까지 여전히 효과적인 마이크로 부품의 핸들링 방법은 해결되지 못하고 있는 실정이다.

1.2. 청정실에 맞도록 설계

마이크로 시스템 기술에서 크기의 축소화 및 꾸준한 품질에 대한 요구의 증가는 항상 더 엄격한 “청정한” 생산 방법을 요구하게 된다[9].

그 중요한 오염원, 예를 들면

- 공간의 떠다니는 입자
- 공정(프로세스) 매개물의 오염
- 공정중 설비들에 있어서의 마찰
- 접촉오염 (예 : 핀셋 등을 통한)
- 청정실의 작업자

에 의한 영향을 제거하기 위해서는 초미세 조립에서의 부품을 집을 공정(프로세스) 역시 청정실 환경에서 수행되어야 한다. 이것이 그리퍼에 대해 가지는 의미는 이것 역시 청정실 환경에 맞도록 설계, 운영되어야 한다는 것이다.

1.3. 부품손상의방지(*1-1 조건과 상충)

한 가지 특히 주목해야 할 것이 그리퍼의 쥐는 힘인데, 마이크로 시스템을 구성하는 부품들은 아주 취약한 구조를 갖고 있기 때문에 그리퍼의 움켜쥌을 통해서 간단히 파손되거나 손상되기가 쉽다.

따라서 쥐는 힘을 제한할 필요가 있다. 이렇게 부품을 취급하는 특정공정에서의 힘을 제한함으로써, 흔히 발생할 수 있는 부품의 손상이나 표면균힘 등을 방지할 수 있다[10]. 적당한 방법을 써서 그리퍼를 통해서 발생하는 쥐는 힘을 정밀하게 제어할 수 있어야 한다.

그리퍼의 설계에 따라서 쥐는 힘은 다른 크기로 나타난다. 따라서 표면손상을 피하거나 방지할 수 있는 비접촉식 시스템 또는 방법을 선정하여야 한다.

동시에 또한 고려되어야 하는 것은 쥐는 힘과 더불어서 접촉면적에 따른 마이크로 부품의 응력집중에 관한 것이다. 그리퍼의 쥐는 힘이 일정할 때 접촉면적이 감소하면 부품에 있어서의 접촉응력은 증가한다. 한편으로는, 위에서 제시한 표면력들의 영향을 줄이기 위해서 가능한 한 접촉면적을 줄이려고 노력해야 한다. 이와는 달리 턱이 두 개 달린 그리퍼나, 호두까기 형태의 그리퍼에서는 취급대상의 손상을 막기 위해서 가능한 한 접촉표면적을 넓히려려고 시도해야 할 것이다. 이와 같이 서로 상반된 요구조건으로부터 해결해야 할 문제는 시작한다.

1.4. 취급 대상 재료의 독립성

취급대상(마이크로 역학적인 부품)은 실로 여러 가지 재료로 만들어 질 수가 있는데, 예를 들면, 금속, 반도체 및 비금속들로 구성될 수가 있다. 이것으로부터 나타나는 중요한 또 하나의 조건은 취급하려는 대상의 재질이 무엇 이든간에 상관없이 그리퍼를 쓸 수 있어야 한다는 것이다.

1.5. 쥐는 힘의 보존

일단 그리퍼로 대상 물체를 집을 다음에 원하는 위치로 이동하는 사이에 물건을 떨어뜨리지 않으려면 그리퍼가 물체를 잘 붙들고 있어야 한다. 이렇게 하려면 취급부품에 손상이 가지 않는 범위 내에서 그리퍼에 어느 정도의 최소한의 힘이 요구된다.

운반도중에 정전이 되더라도 취급대상물을 안전하게 붙들고 있으려면 그리퍼의 쥐는 힘을 그대로 보존해야 한다. 이를 위해서는 흔히 스프링을 활용한 기구가 사용된다[10, 11].

1.6. 그리퍼의 정도

그리퍼의 선정시 그리퍼의 정도는 특히 중요하다. 마이크로 시스템을 구성하는 부품들의 축소화는 2마이크로미터에서 20마이크로미터 정도의 취급정도를 요구한다. 대상물과의 직접적인 접촉으로 인해서 그리퍼는 부품의 위치설정에 아주 큰 영향을 미치게 된다[12].

또한 그리퍼를 안내하고 작동시키는 전체구조에 약간의 여유(유격)라도 생기면 목표로 하는 그리퍼의 정도에 상당한 부정적인 영향을 주게 된다.

따라서 전체 그리퍼 정도의 향상이 하나의 커다란 조건으로 등장하게 되는 것이다.

1.7. 초미세 조립용 그리퍼(microassembly)의 조건 요약

그리퍼는 핸들링장비의 최종적인 영향을 나타내는 요소로서 취급(핸들링) 대상물과의 연결 관계를 만들고, 유지하고 해제하는 역할을 맡고 있다.

실제 응용대상에 따라서 여러 가지 부가적인 기능이 덧붙여 질 수가 있다.

여러 가지 보는 관점에 따라서 그리퍼를 분류할 수가 있으며, 하나의 그리퍼는 물건을 잡는 원리(파악 법칙), 기구학(Kinematic), 구동방법, 플랜지 및 케이스 및 제어장치로 구성된다[오].

마이크로 부품의 취급을 위해 그리퍼가 몇가지 중요한 조건을 만족시켜야 한다. 즉, 표면력들의 영향을 제거하거나 피하기, 청정실에서의 작업조건, 그리퍼의 접촉으로 인한 부품의 손상방지, 대상재료에 관계없이 취급가능하기, 정도 및 힘의 보존 등이다.

이들 여러 가지 조건들 중에서 특히 표면력들의 영향을 극복하는 것이 가장 중요한 의미를 갖는다. 따라서 다음절에서는, 이들 마이크로 그리퍼에 대한 요구조건을 염두에 두면서 마이크로 그리퍼 기술의 현황에 대해 살펴보고 목표로 하는 그리퍼의 원리와 구조를 살펴보기로 한다.

2. 마이크로 그리퍼 기술의 현황

초미세 조립용 그리퍼에 요구되는 조건들을 만족시키는 여러 가지 가능성들을 비추어 볼 때, 특히 적당한 그리퍼의 원리는 겨우 세 가지 형태로 축약되며, 이들은 기계식 그리퍼, 점착식(adhesion) 그리퍼 및 흡착식 그리퍼이다.

따라서 이들 세 그리퍼의 원리에 대해 다양한 마이크로 그리퍼의 실제 기술의 현황을 살펴보고, 마이크로 그리퍼에 대한 요구 조건들을 검토하고 평가하여 적절한 취급원리와 구조를 유도해 보기로 한다.

2.1. 기계식 그리퍼

미세부품을 취급할 때 종래에는 주로 흡착식 그리퍼를 사용하였다. 따라서 과거에는 기계식 원리에 의해서 물체를 잡는 마이크로 그리퍼는 거의 개발되지 않았다. 오늘날 몇 가지 “기계식 그리퍼”가 선을 보였는데, 이들은 역학적인 힘을 이용해서 물체를 잡는 그리퍼들이다.

칼바이트[13]는 형상기억합금과 피에조 구동방식을 사용하여 미니 그리퍼를 실현시켰다. 열선 구동방식은 전도체에 전류를 흘렸을 때 생기는 열적인 길이변화를 응용한 것이다[그림 2 (a)].

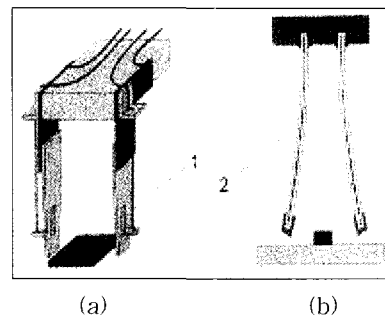


그림 2. 미니그리퍼 : (a) 형상기억합금을 이용 (b) 피에조 액츄에이터 이용

구조가 간단하고 신뢰성이 높다는 것이 장점이지만, 높은 열의 발생과 열적관성이 큰 것이 단점이다. 그리핑 시간은 수초가 소요된다.

피에조 액츄에이터를 사용한 기계식 마이크로 그리퍼가 1990년에 안도[14]에 의해 개발되었다[그림3].

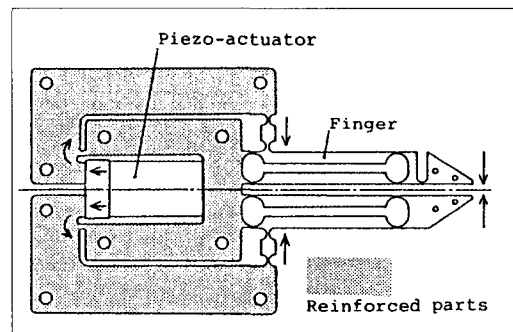


그림 3. 확대한 마이크로 그리퍼의 구조(Ando)

이 피에조 액츄에이터는 부하를 걸기전에 4마이크로미터의 최대 길이변화가 가능하였으며, 그리퍼의 턱은 0.2mm이상의 거리를 움직일 수 있었다. 그러나 안도의

작업에서 마이크로 부품으로 조립작업을 시행하였다는 것과 달라 붙는 문제에 대한 설명은 없다.

김[15]은 10 마이크로미터 이하의 물체를 다룰 수 있는 외팔보 형태의 구조 그리퍼를 개발하였다[그림 4]. 이것은 몸체 크기가 7*5*0.5mm이며 웨이퍼에서 만들었으며, 구동은 정전기식으로 이루어진다.

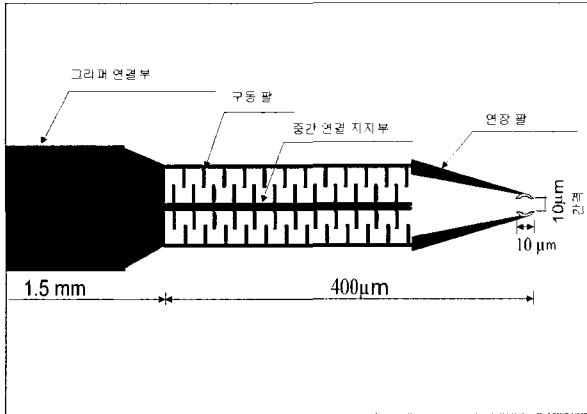


그림 4. 외팔보 구조 마이크로 그리퍼[15]

양쪽의 그리퍼 팔은 빗살모양을 하고 있으며, 그 연장부에 있는 조그만 턱으로 물건을 집는다. 턱 사이에 전압을 가하면 그리퍼의 팔이 탄성적으로 움직여서 그리퍼를 닫는다. 이것으로 크기가 2.7마이크로미터에 해당하는 작은 부품을 집을 수가 있었다. 그러나 이 미세부품을 집은 다음 이부품은 자신의 자중에 의해서 그리퍼의 턱으로부터 해방될 수가 없었다. 이 부착현상의 원인은 그리퍼와 마이크로 부품 사이의 정전기력에 있다.

이밖에도 구조재질의 기계식 그리퍼가 여럿 개발되었으나 [8,16], 마이크로 부품을 집은 다음 부품을 그리퍼의 턱으로부터 풀어놓는 문제에 대한 설명은 전혀 없다.

2.2. 점착식 그리퍼

기계식으로 부품을 집을 때 발생하는 연약한 부품의 파손과 손상을 막기 위해서 점착력을 이용한 그리퍼가 잘 이용되었다[7,17,18]. 여기서는 쥐는 힘이 대상 물체의 자중에 한정되기 때문에 이것을 통해 물체를 쥐는 힘을 최소화할 수가 있다.

자연계에는 점착식 그리퍼의 아주 좋은 예들을 살펴볼 수가 있다. 꿀벌은 끈적 끈적한 꿀샘을 분비하는 관상의 부착털을 이용하여 매끄러운 표면 위에 잘 붙을 수가 있다. 동시에 벌들은 거친 표면 위에서는 부착용 발톱을 사용한다. 식충 식물인 끈끈이 주걱은 끈적이는 분비물로 꼭 붙들어 맨다. 가통의 그물 던지는 거미(그림 5)는 뒷다리를 이용해서 밤새 명주실로 조그만 거미집을 지어 놓는다[19].

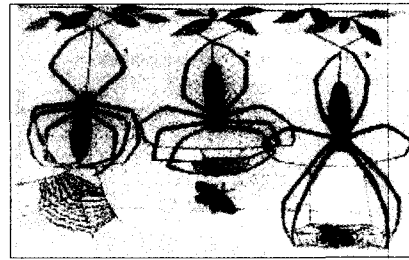


그림 5. 그물 던지는 거미[19]

이렇게 해서 지은 집을 앞다리로 들고 가만히 지키고 있다가 그 집 앞을 지나가는 곤충에게 갑자기 집을 내던져서 먹이를 사로잡는다. 이 경우에 발(그리퍼의 턱)과 눈(센서) 및 거미집(점착력)은 먹이를 잡기 위한 훌륭한 그리퍼 시스템이다.

하나의 점착머가 인쇄물 위로 감겨지는 점착식 그리퍼는 비교적 쉽게 구성할 수가 있다[18].

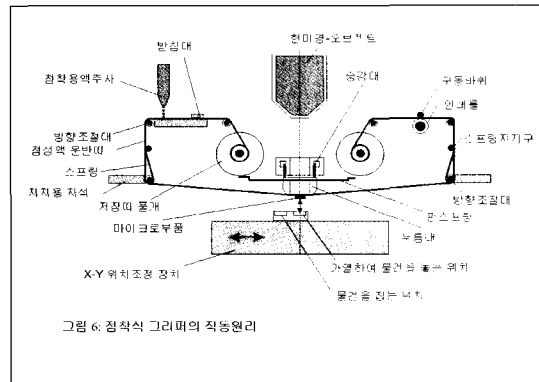


그림 6. 점착식 그리퍼의 작동원리

여기서는 하나의 투명한 비닐띠 위에 일정간격으로 설탕물 용액을 주사한다. 각각의 그리핑 공정에서 이 띠는 일정시간간격(택타임)으로 롤시스템에서 감겨진다[그림 6]. 새로운 물방울이 달린 띠는 바로 위에 달린 띠 감개에 의해 이동을 시켜야 할 부품의 위치로 내려 놓려지며, 다시 위로 올려진다. 부품을 놓아야 할 위치에서 가열장치가 작동되면 액체의 점도가 낮아지고 따라서 쥐고 있는 물체를 내려 놓게 된다.

그렇지만 문제는 점착용 물방울이 없어도 이 부품이 운반띠 위에 달라 붙으며, 원하는 곳에서 떨어지지 않는 것이 관찰되었다. 상대적으로 면적이 넓은 띠가 정전기력을 발생시켜서 이것이 마이크로 부품을 띠에 꼭 붙게 한다. 즉, 이러한 그리퍼 구조물에서도 역시 그리퍼에 대한 부품들의 달라붙음 문제가 발생함을 알 수 있다.

이 과정은 재반복성이 전혀 없으며, 집고 놓을 수 있는 부품의 무게도 0.3에서 12그램 사이로 한정된다. 또한 피할 수 없는 문제는 그 부품 위에 남아있는 점착제로 인한 오염 문제인데, 주위의 영향에 민감한 부품들인 경

우에 이것은 예상하지 못한 결과를 가져다 준다. 또한 이것들로 인한 먼지의 발생은 이 그리퍼 원리의 단점이기도 하다.

이밖에도 여러 가지 점착식 그리퍼 [7, 17]가 개발되었으나 이들에서 역시 마이크로 부품의 조립과 그와 관련된 부품해제방법에 대해 전혀 언급이 없으며, 따라서 이들로부터 마이크로 부품의 취급에 관한 진술은 전혀 없는 것이다.

2.3. 흡착식 그리퍼

이미 마이크로 엘렉트로닉스의 실장기술(SMT:Surface Mount Technology)에서 널리 보급된 진공식 그리퍼와는 달리 마이크로 역학적인 부품들에 대한 그리퍼는 더 중요한 조건들을 만족시켜야 한다.

즉, 부품들의 취약성에 비추어 볼 때

- 부품을 흡착하는 압력은 가능한 한 낮게 유지해야 하며,
- 공기를 흡입하는 구멍의 단면적을 최대화하여야 하며,
- 이용 가능한 부품과의 접촉면적을 최적으로 이용하여야 한다.

특정 그리퍼의 힘을 어느 정해진 장소로 가져오는 것은 마이크로 조립에 있어서의 하나의 기본조건이며, 동시에 정확한 위치설정을 위한 그리퍼 대상물의 시각적인 검사를 필수 조건으로 한다. 따라서 오늘날의 대다수의 흡착식 그리퍼는 시각검사를 고려한 구조를 갖고 있다 [20, 21, 22, 23].

어떤 그리퍼는 투명한 여러 가지 유리부품을 써서[23], 편평하지 않은 물체도 집을 수가 있으며, 중심잡기도 할 수 있다[그림7].

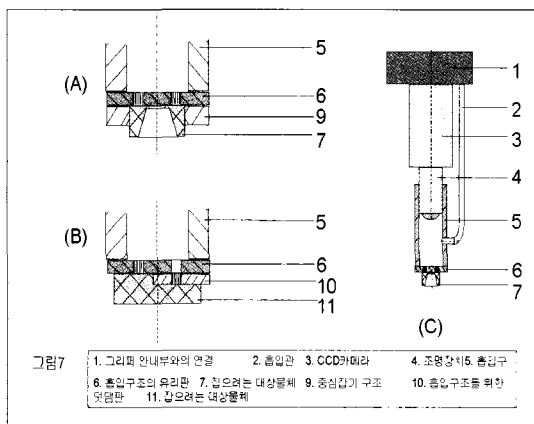


그림 7. 투명 흡착식 그리퍼 : (a) 중심잡기 보조구 이용, (b) 비평면 물체의 집기, (c) CCD카메라와 결합된 흡착식 그리퍼의 단면구조

그러나 이들 구조에 있어서 작용 요소들 사이의 정전기에 의한 인력을 상쇄하기 위해서는 대상물질을 떨어

뜨리기 위한 추가 압력이 필요하다. 이들 흡착식 그리퍼에서도 마이크로 부품의 크기가 그리핑 과정에 미치는 영향에 대해 진술한 것이 없으며, 과압이 마이크로 조립의 정밀한 위치설정에 미치는 영향에 대해서도 엄밀한 진술이 없는 형편이다.

3. 기술의 현황과 문제

초미세 부품에 대한 신뢰성있는 조립시스템을 개발하기 위해서는, 적절한 취급(핸들링)원리가 필요하다. 따라서 여기서 여러 가지 마이크로 그리퍼의 종래의 부착 원리와 접촉구조를 살펴 보고, 마이크로 그리퍼의 요구 조건에 따라 평가를 해 보았다. 상세내용은 [4]를 참조.

이것[4]에 따르면, 지금까지 개발된 어느 마이크로 그리퍼도 초미세 조립에 있어서의 표면력의 영향을 해결하는데 만족스런 결과를 나타내지 못했다.

대상물을 집기 위해 흔히 발생하는 높은 국부응력과 최소한 두 개 이상의 접촉면적이 필요한 기계식 그리퍼는 취약한 조립대상물과 서로 밀집되어 들어서 있는 부품집단에 대해서는 적당하지가 않다 [21].

마이크로 조립용 흡착식 그리퍼는 한쪽으로부터 부품을 집을 수가 있으며, 표면압이 낮고 구조가 간단하다는 좋은 특성을 갖고 있다. 그럼에도 불구하고 이것이 마이크로 부품의 취급에 제한적인 것은, 진공환경에서는 사용이 불가능하며, 부품을 풀어 놓기 위한 과압 때문에 미세 부품에 있어서는 부적당하다 [21, 24].

점착제를 통한 취급부품의 오염 때문에 점착식 그리퍼의 적용가능성은 한정 된다 [24].

위에서 언급을 하지는 않았지만, 정전기식 그리퍼는 다른 그리퍼의 원리에 비해 많은 장점을 지니고 있다. 예를 들면, 한쪽 면으로 집을 수 있으며, 부품에 미치는 응력이 아주 낮으며, 구조가 간단하고 진공 속에서도 적용을 할 수가 있다는 점 등이다. 그러나 전압을 끊은 다음에 전하가 천천히 사라진다는 것이 실 적용시 방전 관련하여 상당한 문제를 가져다 준다. 따라서 정전기력은 지금까지 마이크로 조립용으로 부적합한 원리로 여겨져 왔다 [20].

따라서 지금까지 정전기력을 이용한 마이크로 그리퍼는 거의 사용이 되지 않고 있었다. 단지 옷감과 가죽의 취급시에 부분적으로 적용되었다 [25, 26, 27].

아주 흥미로운 것은 이러한 정전기력이 마이크로 부품의 취급에 원하는 대로 이용될 수 없을까 하는 것이다.

이에 대한 흥미로운 연구결과는 참고문헌[4]를 참고하기 바란다.

참고문헌

1. 오현석 : 부각되는 마이크로시스템과 그의 생산을 위한 해결 과제들(상), LG생산기술, Vol.2 No. 6. 1999. P. 12-15,
2. 오현석 : 부각되는 마이크로시스템과 그의 생산을 위한 해결 과제들(중), LG생산기술, Vol.2 No. 7. 1999. P. 12-16,
3. 오현석 : 부각되는 마이크로시스템과 그의 생산을 위한 해결 과제들(하), LG생산기술, Vol.2 No. 8. 1999. P. 8-11,
4. Oh, H.-S., Elektrostatische Greifer für die Mikromontage, Fortschr.-Ber. VDI Reihe 8 Nr. 702. Dsseldorf: VDI Verlag 1998. 130 S.
5. H.-W. Franke, Auf dem Weg zur Nanotechnik eine Vision, Spektrum der Wissenschaft, Dossier 4: Mikrosystemtechnik, 1996, 102 109.
6. Schubert, H., Fratzscher, W., Militzer, K.-M., Schubert, M., Schulze, R.:Mechanische Verfahrenstechnik, 3. Aufl., Deutscher Verlag fr Grundstoffindustrie, Leipzig 1990, S. 101-110.
7. Bark, C., Vgele, G., Weisener, T.:Bitte nicht berhren -Greifen mit Flssigkeiten in der Mikrotechnik, in: F&M Feinwerktechnik Mikrotechnik Mikroelektronik 104 (1996) 5: Carl Hanser Verlag, Mnchen, S. 372-374.
8. Zhlke, D., Fischer, R., Hankes, J. :Schrittweise in die automatisierte Mikromontage, in : F & M Feinwerktechnik Mikrotechnik Mikroelektronik 104 (1996) 9 : Carl Hanser Verlag, Mnchen, S. 627-630.
9. Klumpp, B., Dorner, J.: Braucht die Mikromechanik die Reinraumtechnik?, in: F&M Feinwerktechnik Mikrotechnik Mikroelektronik 102 (1994) 10: Carl Hanser Verlag, Mnchen, S. 494-496.
10. Hesse, S.: Greifer-Praxis. Vogel Verlag. Wrzburg. 1991.
11. Seegrber, L.: Greifsysteme fr Montage, Handhabung und Industrieroboter:Grundlagen-Erfahrungen-Einsatzbeispiele. Ehningen bei Bblingen Expert-Verl., 1993
12. Zhlke, D., Fischer, R., Hankes, J.: Greifer fr die automatisierte Mikromontage, in:F&M Feinwerktechnik Mikrotechnik Mikroelektronik 105 (1997) 11-12: Carl Hanser Verlag, Mnchen, S. 814-818.
13. Kallweit, A.: Miniaturgreifer nach biologischem Vorbild. Diss. TU Dresden 1988.
14. Ando, Y., Sawada, H., Okazaki, Y., Ishikawa, Y., Kitahara, T., Tatsue, Y., Furuta, K.: Development of Microgrippers. In: Reichl, H. (ed.), Microsystem Technologies, Springer 1990, S. 844-849.
15. Kim, C.-J., Pisano, A.-P., Muller, R.-S.: Silicon-Processed Overhanging Microgripper, in: Journal of Microelectromechanical Systems. Vol. 1, No. 1, March 1992, S. 31-36.
16. Salim, R., Wurmus, H.: Kleinste Objekte im Griff, in: F&M Feinwerktechnik Mikrotechnik Mikroelektronik 104 (1996) 9: Carl Hanser Verlag, Mnchen, S. 637-640.
17. Grutzeck, H., Kiesewetter, L.: Greifen mit Kapillarkrften, in:41. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium -23. -26. September 1996-Wandel im Maschinenbau durch Feinwerktechnik und Mikrosystemtechnik, Band 1, TU Ilmenau (Thr.) 1996, S. 103-108.
18. Henschke, F.: Greifen mikromechanischer Strukturen mit adhsiven Hilfsstoffen:F&M Feinwerktechnik Mikrotechnik Mikroelektronik 102 (1994) 9: Carl Hanser Verlag, Mnchen, S. 411-415.
19. Gudemann, W. E.: Geheimnisse der Natur - Entdecken, Entschlsseln, Erklren, Bertelsmann Lexikon Verlag GmbH, Gtersloh/ Mnchen 1992, S. 251.
20. Henschke, F.: Miniaturgreifer und montagegerechtes Konstruieren in der Mikromechanik-Anstze zur Lsung des Montageproblems in der Mikrosystemtechnik : Fortschr.-Ber. VDI, Reihe 1, Nr. 242. Dsseldorf : VDI-Verlag 1994, S. 49-55.
21. Nienhaus, M., Berg, U., Ehrfeld, W., Kmper, K.-P., Lehr, H., Michel, F. : Mikromontage zur Fertigung hybrider Mikrosysteme, in : 41. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium -23. -26. September 1996 -Wandel im Maschinenbau durch Feinwerktechnik und Mikrosystemtechnik, Band 1, TU Ilmenau (Thr.) 1996, S. 121-126.
22. Schmidt, K.-H.: Mikro-Montage im Rasterelektronenmikroskop, dargestellt am Beispiel "Nadelsensor", in: 38. Internationales wissenschaftliches Kolloquium, TU Ilmenau, 1993, S. 330-337.
23. Zppig, V.: Sauggreifer fr die Mikromontage, in: 41. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium -23. -26. September 1996 - Wandel im Maschinenbau durch Feinwerktechnik und Mikrosystemtechnik, Band 2, TU Ilmenau (Thr.) 1996, S.198-203.
24. Hesselbach, J., Pittschellis, R.: Greifer fr die

Mikromontage, in: wt-Produktion und Management 85 (1995), S. 595-600.

25. Monkman, G.J., Taylor, P.M., Farnworth, G.J.: Principles of Electroadhesion in clothing Technology - International Journal of Clothing Technology, No.3, December 1989.

26. Monkman, G.: Electrostatic Forces in Manufacturing Processes, The Institute of Physics, London, 7th February 1990.

27. Monkman, G.J.: Compliant robotic devices and electroadhesion, Robotica (1992), Vol. 10, S. 183-185.

28. Fearing, R. S.: Survey of Sticking Effects for Micro Parts Handling, in: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems-Human Robot Interaction and Cooperative Robots. Vol. 2. Pittsburgh, Pennsylvania, USA. 1995, S. 212-217.

저자소개



《오 현 석》

- 1982년 부산대학교 기계공학과 (공학사)
- 1984년 부산대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1984년 1월 금성사 중앙연구소 입사
- 1984년 6월 금성사 생산기술연구소 주임연구원 (현LG생산기술원)
- 1993년~1998년 독일 브라운슈바이크 공과대학 (공학박사)
- 1998년~현재 LG생산기술원 책임연구원
- 주요업무 : 평판 디스플레이관련 신 생산공법의 개발 및 관련 장비 제작
- 학위논문 : Micro Endeffector연구 (Electrostatic Microgripper for the microassembly)



● 개인신상 정보 갱신 요망

- 회원님의 개인신상정보는 우리학회 홈페이지(<http://icase.or.kr>)의 인물D/B 중 본인정보수정 에서 개인 별 신상정보 수정이 가능하오니 홈페이지를 직접 방문하시어 수정 및 교정하여 주시기 바랍니다.

- 추후 우리학회에서는 홈페이지에 수록된 정보를 근거로 하여 각종 정보의 송부와 우편 등을 발송할 예정이오니 본인의 정보관리를 철저히 수행하여 불이익을 받지 않도록 하여 주시기 바랍니다.

● 평생회원 회비 및 납부방법

구분	자격	회비	지로/온라인납부	예금주
평생회원	정회원에 한함	500,000	신용카드 전자결제 온라인구좌	사)제어자동화시스템공학회

- 평생회원 회비는 당해년도 정회원 연회비의 15배를 기준으로 산출하고 있으며, 2003년도에는 평생회원 회비의 일부 금액이 할인되고 있으니 참고하여 주시기 바랍니다.

- 평생회원 회비는 3회 분납 가능합니다.

● 회비 및 논문구독비 납부 여부는 우리 학회 홈페이지에서 확인 가능합니다.

- 연회비 및 논문구독비 납부 후 홈페이지의 연회비납부자 구독비납부자 란에서 본인의 회비 납부여부가 가능하며, 만약 납부 후 일정기간 경과 후에도 계속 누락이 된 경우에는 본 학회로 연락하여 주시면 신속하게 해당 사실을 즉시 알려 드리도록 하겠습니다.