

산업용 로봇트를 이용한 유연하고 형상이 복잡한 물체의 자동조립

권 대 갑*

* 한국과학기술원 기계공학부

조 형 석**

** 한국과학기술원 생산공학과

Robotic Assembly of Complicated Flexible Parts

D.G. Gweon
Division of Mechanical
Engineering, KAIST

H.S. Cho
Department of Production
Engineering, KAIST

ABSTRACT

In this study, three insertion techniques vibration method, tactile sensor-assisted method and vision assisted method are developed for the insertion of electric contacts into connectors. In order to prove their Performances, a series of experiments were conducted for various shapes of electric contacts. From the experimental results, three insertion methods are compared and their merits are discussed in detail.

1. 서 론

와이어 하네스 (wire harness) (그림1.) 조립은 매우 노동집약적인 작업이며 임금인상등 기업환경의 변화를 감안할때 자동화가 시급한 분야이다. 와이어 하네스의 조립자동화에 있어서 전기 콘택트를 콘택트에 삽입하는 작업이 가장 어려우며 그 원인은 전선의 유연성과 전기콘택트의 다양하고 복잡한 형상에서 기인된다고 볼 수 있다. 참고문헌(1)에서 자세히 소개된대로, 1970년대초부터 여러가지 삽입방법들이 개발되어졌다(2-9). 지금까지 개발된 삽입방법들은 조립부품의 형상이 쉽게 변형하지 않는 견고한 부품의 조립을 위해서 개발되어 졌을 뿐만 아니라 원주 혹은 사각주와 같은 비교적 단순한 형상의 부품을 조립할 경우에만 적용이 가능했다. 그러나 현재 부품의 형상이 불규칙하고 쉽게 변형될 수 있는 경우에 적용이 가능한 삽입방법은 개발되어 있지 않는 실정이다. 산업용로봇를 이용한 와이어 하네스의 자동조립의 경우 전선끝에 압착된 전기 콘택트를 콘택트에 삽입하는 문제는 지금까지 개발된 삽입기술로 해결하기 힘든 두가지 문제점, 조립부품의 유연성과 형상의 불규칙성을 동시에 갖고 있다. 본고에서는 이와 같은 전기콘택트의 삽입문제를 해결하기 위해서 세가지의 삽입방법, 진동삽입법, 접촉센서를

이용한 삽입법, 그리고 영상처리장치를 이용한 삽입법이 개발되어졌다. 각각의 방법에 대하여 실험장치가 제작 되어 졌으며, 삽입실험을 통하여 세가지 방법의 성능이 비교, 검토되었으며 각방법의 응용한계가 조사되어졌다.

2. 조립부품의 특성

그림2에는 실험에 사용되어질 조립부품들과 각조립쌍의 여유 (clearance) 가 소개되어졌다. 그림에서 보는 바와같이 콘택트 단면의 크기는 길이방향으로 변화한다. 따라서 콘택트와 콘택트 사이의 여유는 삽입깊이에 따라서 변화하며 콘택트 단면을 근사적으로 사각형으로 생각할때 가로방향여유와 세로방향여유가 서로 다르다. 삽입초기 상태에서 각조립쌍은 비교적 큰 여유를 갖고 있으나 전선의 유연성때문에 매우 큰 초기의치오차가 생기므로 이와 같은 큰여유는 큰 장점이 될 수 없다. 그에 반해 콘택트와 콘택트 사이의 최소여유는 비교적 작으며 대부분의 콘택트는 끝부분에 매우 예리한 모서리를 갖고 있으며 형상도 매우 불규칙함을 알 수 있다. 이와같은 콘택트의 형상특성과 콘택트가 압착된 전선의 유연성은 삽입시 큰 장애요소로 작용된다.

3. 진동삽입법

그림3은 진동삽입공구의 구조도이다. 이 진동삽입공구는 로봇트팔에 장착을 위한 플랜지 (flange) 부, 두개의 고정판, 4개의 고무로드, 원형으로 진동하는공압진동기, 그립퍼(gripper), 압축스프링이 내장된 두개의 안내봉 그리고 하나의 근접센서로 구성되어 있다. 그립퍼와 진동기를 고정시킨 고정판II는 4개의 고무로드에 의하여 고정판I 과 연결되어 있으며 진동기와 그립퍼는 함께 원형으로 진동한다. 여기서 4개의 고무로드는 진동체의 진동이 고정판I 에 전달되지 않도록 완충작용을 한다. 콘택트가 콘택트에 삽입되지 않은 상태에서 로봇트의 삽입방향은동이 계속될 경우 고정판I 은 안내봉의 압축 스프링을 압축하여 플랜지 부 쪽으로 상대운동을 일으키며

근접센서는 설정된 거리 이상 플랜지면에 가까와지면 ON 상태로 되고 로봇은 삽입동작을 중단하고 처음상태로 돌아가서 삽입동작을 되풀이한다. 진동삽입법의 실험에는 Hauser 사 (독일)의 3축 직교좌표형 로봇이 사용되어졌다. 예비실험에서는 본 실험을 위한 이상적인 실험조건을 조사했으며 본 실험에서는 이조건들을 변화시키면서 실험이 행해졌다. 예비실험에서 얻은 조건은 다음과 같다 :

삽입속도 = 9 mm/sec , 진동수 = 65 Hz
 x, y 방향 위치오차 = 2 mm , 각도오차 = 15°

그림4에 실험결과가 도시되었다. 대개의 조립부품들은 12 mm/s의 삽입속도에서 삽입가능했으며 허용위치오차와 허용각도오차는 각각 $4\text{ mm} (= (e_x^2 + e_y^2)^{1/2})$ 그리고 20° 에 달했다. 실험에서 원주형 콘택트는 비교적 높은 삽입속도와 큰 위치오차에서도 삽입가능했으며 예리한 모서리를 갖고 있는 콘택트들의 조립시에는 삽입속도가 약간 늦어짐을 알 수 있다. 또한 굽은 전선의 경우가 삽입성능이 더 좋다는 것을 알 수 있다. 전반적으로 볼때 진동삽입법은 콘택트의 형상에 크게 영향을 받지 않는다는 것이 특기할 만하다.

4. 접촉 센서를 이용한 삽입법

접촉센서를 이용한 삽입법에서는 조립부품이 서로 접촉했을 때 반력을 감지함으로써 위치조정방향이 결정되고 거기에 따라서 로봇은 시향작업을 일으키며 위치조정 동작을 반복하며 삽입작업을 완료한다. 그림5에 본 실험에 사용된 그림퍼와 그속에 내장된 한쌍의 로드셀 (load cell)의 구조가 도시되었다. 각 로드셀에는 각각 3개의 스트레인게이지가 부착되어 있으며 도합 3쌍 (6개)의 스트레인게이지에서 나오는 신호의 조합을 처리하므로써 x, y, z 방향의 반력의 상태를 감지하게 된다. 이 감지장치에서는 로드셀의 구조상 스트레인게이지에서 측정된 값이 gripping 힘에 의해서 크게 영향을 받을 뿐만아니라 하나의 스트레인게이지는 여러 성분의 반력에 의하여 영향을 받게된다. 이와같은 영향들을 없애고 한개의 힘의 성분이 하나의 물리량에 의하여 일의적으로 표현될 수 있도록 6개의 스트레인게이지 측정값은 다음과 같이 처리되었다.

$$F_x : ADX = (SLX - SLX\emptyset) + (SRX - SRX\emptyset)$$

$$F_y : DDY = (SLY - SLY\emptyset) - (SRY - SRY\emptyset)$$

$$F_z : ADZ = (SLZ - SLZ\emptyset) + (SRZ - SRZ\emptyset)$$

이와같이 각방향 반력의 성분 F_x, F_y, F_z 의 방향과 크기를 지시해줄 수 있는 서로 독립적으로 변화하는 물리량 ADX, DDY, ADZ 를 사용하므로써 조립부품의 접촉상태를 인식할 수 있다. 그림6에는 삽입과정에서 발생할 수 있는 8가지의 접촉상태가 소개되었으며 각각의 상태가 세개의 물리량 ADX, DDY, ADZ 로 표현되어졌다.

삽입실험에서는 IBM사의 직교좌표형 로봇이 사용되었으며 삽입깊이 10 mm, 전선자유단의 길이 5 mm의

조건에서 실험되어졌다. 그림7은 삽입실험 결과이다. 평균삽입시간은 약5초이며 허용위치오차 및 각도오차는 각각 1.5 mm, 10° 이었다. 진동삽입법에 비해서 이 방법에서는 삽입과정이 삽입부품의 형상에 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 삽입성능을 저하시키는 원인은 콘택트 끝부분의 예리하고 불규칙한 형상 때문이었다. 이경우 긴 위치조정 시간이 요구되었으며 허용위치 및 각도오차도 매우 작았다.

5. 영상처리 시스템을 이용한 삽입법

이 방법에서는 두개의 CCD 카메라가 로봇팔에 장착되었다. 하나는 조립판 위에 고정된 콘택트의 형상과 삽입구를 인식하기위해 수직으로 내려다보는 수직카메라이며 하나는 그림퍼에 접촉있는 콘택트의 힘과 되튐림을 인식하기 위해 수평으로 보고있는 수평카메라이다. 그림 8에 조립장치도가 도시되었고 그림9는 조립판겸 수직카메라를 위한 백라이트 (back light) 장치이다. 수평카메라를 위한 백라이트는 그림에서 구형의 형광 램프이며 수직으로 설치된 수평카메라의 시선은 90° 로 꺾어주기 위해서 45° 각도로 기울어 장착되었다. 이 장치에서는 각종 콘택트의 형상을 인식하고 콘택트에 있는 여러개의 좁고 긴 콘택트 삽입구의 형상과 위치를 바이너리 (binary) 영상처리시스템으로 인식하기 위해서 특수한 백라이트 장치가 설계되었다. 그림9에서 조립판겸 백라이트판은 광전도성판이며 광원으로는 가정용 형광램프가 사용되어졌다. 광원에서 나온 광선은 판의 한모서리면으로 입사되어 판내부에서 전반사를 일으키며 전파되고 이 광선은 나머지 세 모서리를 통해서 외부로 발산된다. 따라서 세 모서리면은 매우 밝지만 판의 상하면은 어둡다. 그러나 판의 밑면에 국부적으로 광학적으로 집광될 수 있는 특수 액체로 코팅해주면 그 부분에서는 빛이 반사되고 이 빛은 판의 윗면을 통해서 발산된다. 따라서 판의 위에서 볼때 국부적으로 밝은 부분이 만들어지며 이부분에 콘택트를 고정시키면 콘택트의 형상은 주위와 좋은 대조를 이루어 바이너리 영상처리가 가능하게된다. 콘택트의 되튐림 (각도오차), F_w 는 그림10과 같이 측정된다. 그림10에서 W 축은 로봇의 회전각도이며 B 축은 카메라에 비춰진 콘택트의 폭이다. 측정초기 위치, $W = 0$ 점은 콘택트가 되튐리지 않았다면 폭이 최소가 되는 점이다. 콘택트가 되튐려져 있다면 로봇 회전축은 시계 혹은 반시계 방향으로 회전을 하면서 카메라에 비춰진 콘택트의 폭이 최소가 되는 점이 측정되고 초기위치에서 그점까지의 로봇 회전각도가 바로 되튐림각 (각도오차)이다. 실제 측정에서는 카메라의 정밀도 (resolution) 때문에 그림10에서와 같이 무감각 영역이 존재하기 때문에 무감각 영역의 시작점과 끝점을 찾아서 중간값이 취해졌다. 콘택트의 굽힘량 (위치오차)은 콘택트 단면을 직사각형으로 근사시킬때 가로방향 굽힘량과 세로방향굽힘량으로 분리해서 측정된다.

세로방향 굽힘량은 카메라에 비쳐진 폭이 최소인 상태에서 측정되고 가로방향굽힘량은 최소폭 지점에서 90° 회전한후 측정되어진다. 양방향굽힘량의 측정 원리는 같으며 그림11에 도시되었다. 영상의 최하단(0점)에서 특정위치 h_1 , h_2 지점에 두개의 visual ruler 1과 2가 위치되고 폭의 중심점 (x_1, y_1) 과 (x_2, y_2) 가 측정된다. 이 두점을 이용해서 새로운 ruler 3이 그림과같이 위치되고 점 (x_m, y_m) 이 측정된다. 여기서 점 x_r 이 로봇의 회전축의 좌표이므로 $x_m - y_r$ 이 콘택트의 굽힘량(위치오차)이다. 로봇의 삽입위치는 그림12에서 결정된다. 그림의 좌표계 $(x_v, -y_v)$ 는 카메라 좌표계이며 그림에서 S, L, K 점은 각각 콘택트, 삽입구 그리고 콘택트의 변형량 $(-K_{xg}, -K_{yg}, -W)$ 만큼 이동된 가상의 삽입구의 센트로이드 (centroid) 이다. 따라서 카메라 좌표계상의 로봇의 삽입위치는 K 점이며 이점은 3번의 좌표변환을 통하여 카메라 좌표계상의 점 (K_{xv}, K_{yv}) 로 표시된다. 이점은 다시 로봇 좌표계상의 점으로 변환되어 최종적으로 로봇 좌표계상의 삽입 위치가 결정된다. 삽입실험에서는 ADEPT 사의 형 로봇이 사용되었으며 영상처리는 ADEPT-Vision system II 에 의해 행해졌다. 사용된 카메라의 pixel 수는 256 x 256이며 영상은 약 0.5 mm 의 resolution 으로 처리되었다. 본실험에서 허용위치 및 각도오차는 콘택트의 변형량에 의해서 결정되었으며 그림 13은 실험결과이다. 삽입시간은 콘택트의 변형상태에 따라서 2내지 5초 소요되었으며 평균 약3초 정도였다.

6. 삽입방법의 비교

그림 14에 세가지 삽입방법의 성능이 비교설명되었다. 접촉센서사용법은 여러가지 관점에서 볼때 다른방법보다 성능이 떨어진다. 이 방법의 큰 단점은 허용오차가 매우 작다는 점과 오차 교정 시간이 매우 길다는 점이다 뿐만 아니라 이방법에서는 콘택트의 복잡한 형상 때문에 오차교정을 위한 알고리즘 작성이 용이치 않다. 진동삽입법은 전기콘택트의 삽입에 가장 적합하다는 것이 밝혀졌다. 이방법에서 삽입공정은 콘택트의 형상에 거의 영향을 받지 않으며 삽입속도가 빠르고 장치비도 매우 저렴하다는 것이 밝혀졌다. 이방법에서의 유일한 단점은 비교적 작은 허용오차이다. 영상처리 장치를 사용한 삽입방법에서는 매우 큰 위치 및 각도오차가 허용되었다. 그러나 이방법에서는 장치가 매우 고가이며 삽입시간도 비교적 길다.

7. 결 론

삽입실험결과 진동삽입법이 콘택트의 삽입에 가장 알맞은 방법임이 밝혀졌다. 또한 이방법은 콘택트의 삽입뿐만 아니라 일반적으로 유연하고 형상이 복잡한 부품의 삽입에 널리 사용될수 있을 것으로 사료된다. 그러나

이방법을 실제 와이어하네스 조립작업에 응용할경우 전선의 큰 유연성 때문에 4 mm, 20° 라는 허용오차는 실제 생길수 있는 오차에 못미칠 가능성이 있다. 따라서 큰 오차에 예상되는 설계현장에서는 부득이 진동삽입법과 영상처리 장치 사용법을 혼합한 조립장치가 설계되어져야 한다. 뿐만 아니라 조립작업이 더욱 확실하게 수행되기 위해서는 조립부품이 자동조립에 알맞도록 설계되어 지는 것이 바람직 하며 자동조립에 맞는 부품설계는 다음과 같이 되어야 한다.

- * 콘택트의 형상을 단순한 것으로 통일시킨다.
- * 콘택트에서 조밀한 삽입구의 간격을 넓힌다.
- * 삽입구의 모서리를 없앤다 (chamfering).
- * 전선의 굽기를 통일시킨다.

8. 참고문헌

1. H.S. Cho, H.J. Warnecke and D.G. Gweon "Robotic assembly: a synthesizing over view" Robotica, Vol.5, pp.153-165, 1987.
2. Whitney, D.E. and Nevins, J.L : What is the RCC and What can it do?. Proc. 9th ISIR. 1979.
3. Caillot, F. and Kerlidou, M. : Air stream compliance. 5th Int. Conf. on Assembly Automation, 1984.
4. Jacobi, P. : Fugemechanismen fur die automatisierte Montage mit Industrierobotern. Maschinenbau-Bauelemente. TH Karl-Marx-Stadt. 1982.
5. Goto, T. a.a. : Precise insert operation by tactile controlled robot HI-T-HAND Expert 2. Proc. 4th ISIR. 1974.
6. Abele, E. : A Force transducer employing conductive silicone rubber. 1st Int. Conf. on RoViSec. 1981.
7. Hanafusa, H. and Asada, H. : Position searching by robot hand with pneumatic sensors. Trans. of the Instrument and Control Engineers. 1975.
8. Uno, T. : An industrial eye that recognizes hole positions in a water pump testing process. in "Computer Vision and Sensor-based Robots", Plenum Press, NY, 1979.
9. Andre, G. : A multiproximity sensor system for the guidance of robot end effectors. 5th Int. Conf. on RoViSec. 1985.

10. Tsuji, S. a.a. : WIRESIGHT : Robot vision for determining three-dimensional geometry of flexible wires. Int. Conf. on Advanced Robotics. 1983.

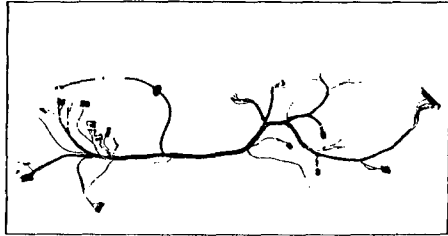


Fig.1 A typical wire harness for automobile.

콘넥타	콘택트	가로어유	세로어유
		0.5	10 mm 20

Fig.2 Clearance of various assembly parts.

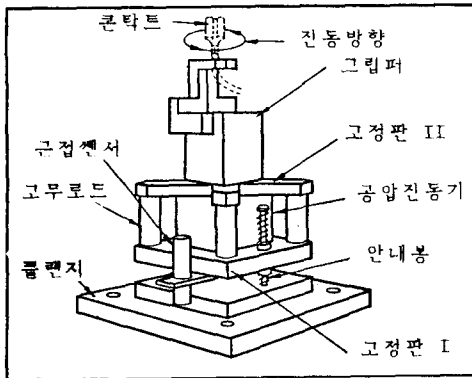


Fig.3 The vibratory insertion tool.

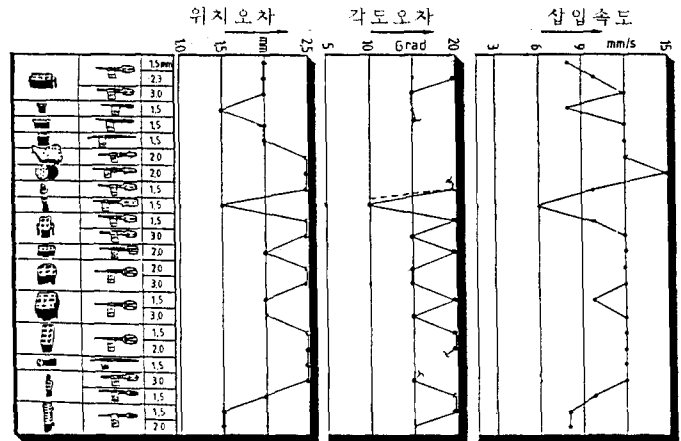


Fig.4 Assembly test results of the vibration method.

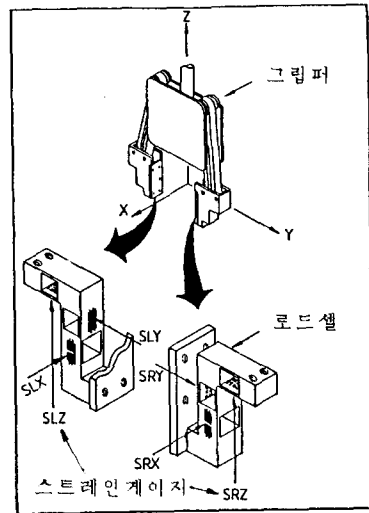


Fig.5 A gripper with force sensor.

삽입상태	ADX	DDY	ADZ	삽입상태	ADX	DDY	ADZ
	-				-		+
	+				+		+
		+				+	+
		-				-	+

Fig.6 Characterization of insertion situations with characteristic quantities.

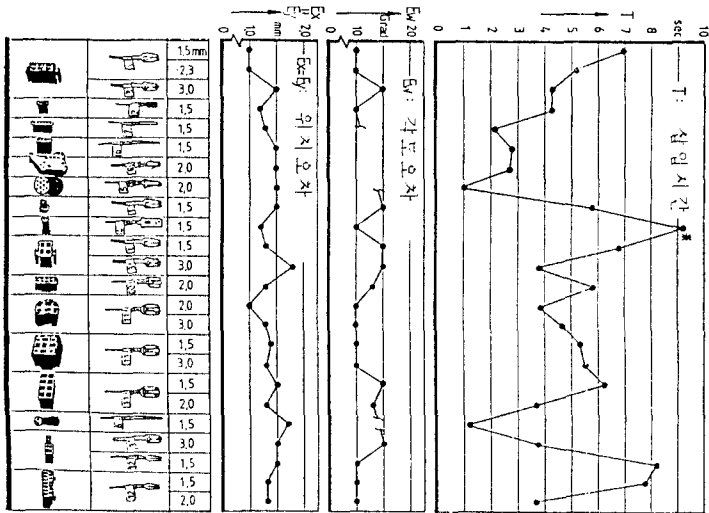


Fig.7 Assembly test results of the searching method with tactile sensors.

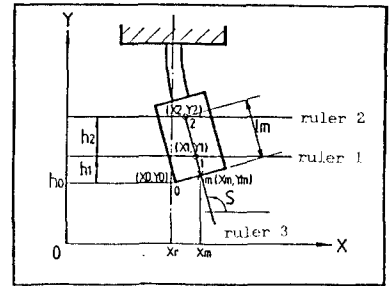


Fig.11 Determination scheme of lateral deviation.

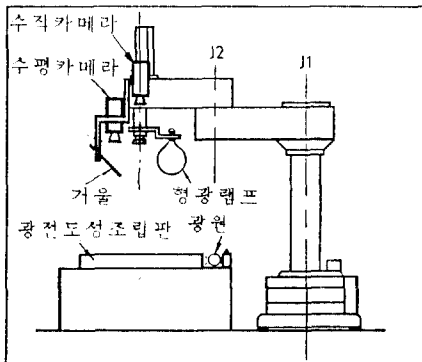


Fig.8 Experimental set-up with image processing system.

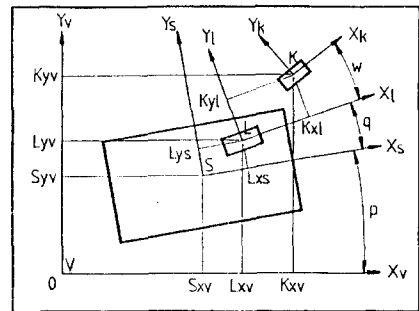


Fig.12 Determination scheme of insertion position.

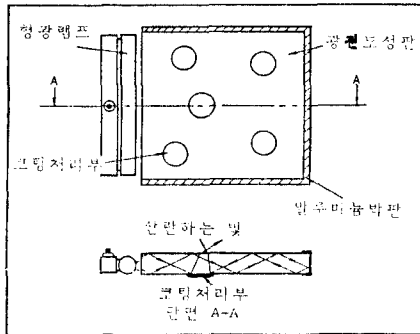


Fig.9 Assembly plate(back light for vertical camera).

공탁품	허용위치오차	허용각도오차	오차측정시간
	관공의 방향각도와 공탁품의 각도에 따라 10~20mm	60°	관공의 방향각도에 따라 2~4sec
		50°	
		-	
		80°	
		축대향	
		60°	
		60°	
45°			

Fig.13 Test result of the allowable deformations of contacts.

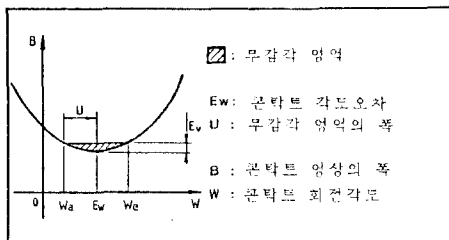


Fig.10 A scheme for determining contact orientation.

삽입방법 비교	전통법	접촉센서 사용법	영상처리 장치 사용법
장치비	150만원	500만원	5000만원
삽입시간	1 s	5 s	3 s
허용위치오차	4 mm	1.5 mm	15 mm**
허용각도오차	20°	10°	60°

Fig.14 Comparison of insertion methods.