

# 압전 세라믹 액츄에이터의 응용; 모바일 폰 카메라용 액츄에이터 및 초음파 모터

류정호, 윤운하, 박동수 | 한국기계연구원

## 1. 서론

지난 2001년 일본 이동통신업체 J폰과 휴대전화업체 샤프가 제휴해 선발 경쟁사 추격을 막기 위한 전략제품으로 처음 선보인 카메라폰은 현재까지 5년여의 기간 동안 전세계 휴대전화시장의 성장을 이끌며 차세대 시장 주류로 우뚝 섰다.

첫 카메라폰에 장착된 카메라는 10만화소(CIF)급이었으나, 그 이후 급진적인 CCD 및 CMOS 이미지 센서 기술과 광학기술의 발전으로 최근 일본과 한국 시장에서는 200~300만 화소급 이상의 카메라폰 출시가 봇물을 이루며 고화질 카메라폰 경쟁이 본격화되고 있다. 이에 힘입어 카메라폰은 지난해 한국시장의 90%, 일본시장의 95% 이상을 차지했다. 국내 삼성전자는 올해 1000만화소 CCD 카메라 모듈이 장착된 휴대전화를 출시하고 있으며, 200만화소 CMOS 카메라 모듈이 대세로 자리잡기 시작하였다. 금년 상반기까지 주종이었던 130만화소급 카메라폰의 실제 성능은 동일 화소의 디지털카메라에 비해 부족한 것이 사실이다. 이는 카메라의 광학적인 부분과 이미 센서도 문제가 되겠지만, 그보다는 부가기능 부재가 더 큰 이유라고 할 수 있다. 지금까지 카메라폰의 최대 이슈는 얼마나 고화소의 이미지센서를 사용하는가 하는 것이었지만, 최근에는 디지털 스틸 카메라 (DSC)와 동일하거나 보다 우수한 부가기능의 장착 여부로 바뀌어 가고 있다.

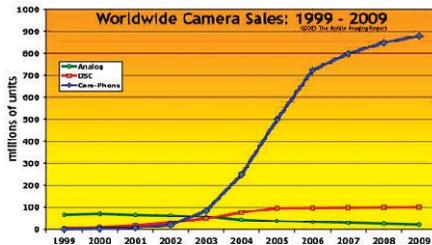
이미 상용화가 시작된 대표적인 부가기능으로 자동초점조절(AF)과 광학줌 기능을 들 수 있다. 지난해 하반기부터 출시되고 있는 200만화소급 카메라폰의 경우 AF기능은 휴대전화용 카메라 모듈에서 필수적으로 장착되어야 하는 부가기능으로 인식되어가고 있는 추세다. 국내에도 각 카메라모듈 제조회사마다 독자적인 전자기방식 액츄에이터 또는 압전방식 액츄에이터 등의 기술로 AF기능을 갖춘 카메라모듈을 차례로 출시하고 있다. AF기능과 광학줌 기능은 기존의 필름 카메라와 디지털카메라에서는 이미 일반화됐지만 휴대전화용 카메라모듈에서는 크기의 제한으로 인해 적용되지 못했다. 즉, 일반 카메라에 사용되는 광학줌 렌즈 및 AF렌즈 구동용 소형 DC모터나 스테핑모터와 감속 기어군의 크기가 기술적인 걸림돌이 되어 왔지만, 이 또한 새로운 기술이 속속 개발됨으로써 최근 해결되어 지고 있다.

본 고에서는 현재 이슈가 되고 있는 AF 카메라 모듈에 적용하기 위해 개발 또는 상용화 되어 있는 초소형 액츄에이터중 압전 액츄에이터, 초음파 모터의 개발 동향 및 기술을 리뷰하였다.

## 2. 카메라 모듈의 시장 동향

전세계의 카메라 폰 및 그에 실장되는 카메라 모듈의 시장 동향 및 예측을 아래 그림 1에 나타내었다. 서론에서 기술한 바와 같이 2001년 최초로 카메라 폰이 등장한 이래 2003년 그 시장규모는 이미 디지털카메라 (DSC)를 추월하였으며, 2006년 현재 연간 약 7억개의 카메라 모듈이 생산되고 있다. 이중 현재 약 10%만의 카메라 모듈에 AF 기능이 추가 되고 있으며 그 수는 해가 지남에 따라 화소의 증가와 함께 기하급수적으로 늘어나 2010년도에는 전세계 카메라 폰의 절반이 AF 기능이 있는 카메라 모듈을 실장하게 될것으로 예상된다.<sup>[1,2]</sup>

현재의 AF 카메라 모듈의 대부분은 샤프 (Sharp), 코니카 미놀타 (Konica Minolta) 등의 일본업체들에 의해 공급되고 있으며, 지난해부터 국내 삼성전기, LG이노텍 등의 국내 업체들이 VCM (Voice Coil Motor) 방식의 AF 모듈을 시장에 출시하기 시작하였다. 이중 국내에서는 삼성전기가 VCM 방식의 AF 카메라 모듈 이외에 압전초음파 모터 방식, 액체렌즈 방식의 다양한 AF 구동 솔루션을 개발 하고 있으며 조만간 출시될 것으로 예상된다. 해외에



Year	Phone Units (Millions)	% with Camera	# Cameras (Millions)	% Cameras with AF(Only)	# AF Cameras (Millions)	% Cameras with AF and Zoom	# AF-ZM Camera (Millions)	Total Units AF and/or Zoom (Millions)	Total Motors AF and Zoom (Millions)
2003	450	18%	80	0%	0	0%	0	0	0
2004	580	43%	250	6%	15	0%	0	15	15
2005	750	67%	500	7%	35	3%	15	50	65
2006	875	83%	725	10%	75	4%	30	105	135
2007	938	85%	800	16%	130	10%	80	210	290
2008	984	87%	856	25%	210	19%	160	370	530
2009	1000	90%	900	44%	400	27%	240	640	880
2010	1034	87%	900	50%	450	40%	360	810	1169

Assumption by 2010 :

- 50% Of phone cameras have AF
- 40% Of phone cameras have AF and Zoom
- 90% Of phone cameras have either AF or AF and Zoom

More than one billion phones per year!

A new market for more than one billion motors per year!

그림 1. 카메라모듈의 시장동향 및 예측 (The Mobile Imaging Report)<sup>[4]</sup>

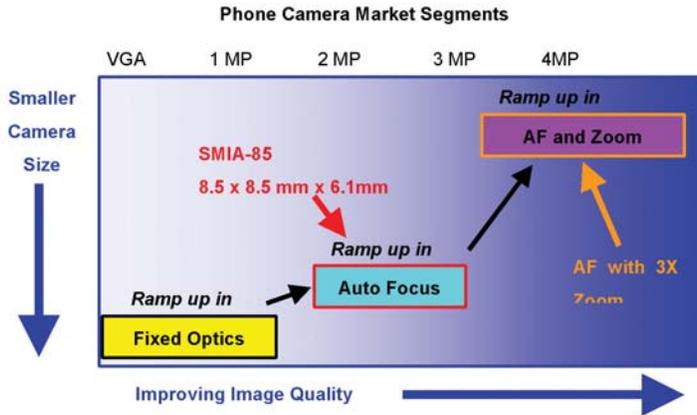


그림 2. 휴대폰용 카메라의 시장 성장 단계<sup>[4]</sup>

서는 일본 코니카 미놀타사가 2003년 세계 최초로 130만화소의 AF 카메라 모듈을 압전선형모터 (SIDM; Smooth Impact Driving Mechanism)을 이용하여 출시하였으며, 현재까지 시장에 나와있는 유일한 압전 AF 카메라 모듈로 자리 잡고 있다.<sup>[3]</sup>

그림 2에서 보인바와 같이 카메라 모듈시장은 AF 카메라모듈로 대표되는 부가기능의 중요성이 커지고 있으며, 그에 들어가는 초소형 액츄에이터의 시장이 연간 수천만개에 달하고 있는 매우 큰 시장으로 성장하고 있다. 또한 AF 카메라 모듈의 차세대로서 광학줌모듈시장이 향후 1~2년내에 5M 급 화소 카메라 모듈에 적용되므로써 새로운 시장이 형성될 것으로 예측되고 있으며, 그에 따른 초소형 액츄에이터시장은 더욱 커질 것으로 예상된다.

### 3. AF 카메라 모듈의 구성 및 요구조건

그림 3은 휴대전화용 AF 카메라 모듈의 구조를 나타내는 개략도이다. AF 카메라 모듈은 크게 빛의 광로를 변화시키는 광학렌즈, 광학렌즈를 광축방향으로 이송시키는 액츄에이터, 액츄에이터를 구동시키는 구동회로부 (Driver), 빛을 전기적으로 변환시키는 이미지센서 (CCD, CMOS센서), 전기적인 신호를 화상신호로 변환시키는 화상처리프로세서 (ISP; Image Signal Processor) 로 이루어 진다 (그림 3). 동작원리를 살펴보면 빛이 광학렌즈를 통해 이미지센서에 도달하면 빛의 정보에 따라 전기적인 신호로 변환되고, 이 전기적인 신호는 화상처리프로세서에서 화상으로 변환된다. 화상의 초점상태를 분석하여 (고주파성분분석) 화상처리프로세서는 액츄에이터 구동회로부에 액츄에이터 이송을 위한 명령을 내리게 되고, 이에 따라 렌즈가 이송되어 렌즈의 초점거리를 바꿔가며 가장 초점이 맞는 화상이 될 때 렌즈의 이송을 멈추고 사진을 찍게 된다. 본 원고에서 리뷰하고자 하는 부분은 광학렌즈를 이송시켜주는 액츄에이터 부분으로 전자기, 압전, 정전기, MEMS, 고분자액츄에이터등 매우 다양한 기술들이 많은 연구그룹과 기업들에 의해 개발 중에 있다.

휴대전화용 카메라 모듈의 경우 DSC와 휴대전화의 대표적인 디지털융합 (Digital convergence)임과 동시에 DSC와의 경쟁관계에 있다. 휴대전화내부에 들어간다는 기본적인 전제가 있기 때문에 DSC와는 다른 필요조건이 있으며, 특히 렌즈이송용 액츄에이터의 경우에는 특히 많은 공간적, 비용적 제한 조건들이 있다. 아래 표 1에 DSC,

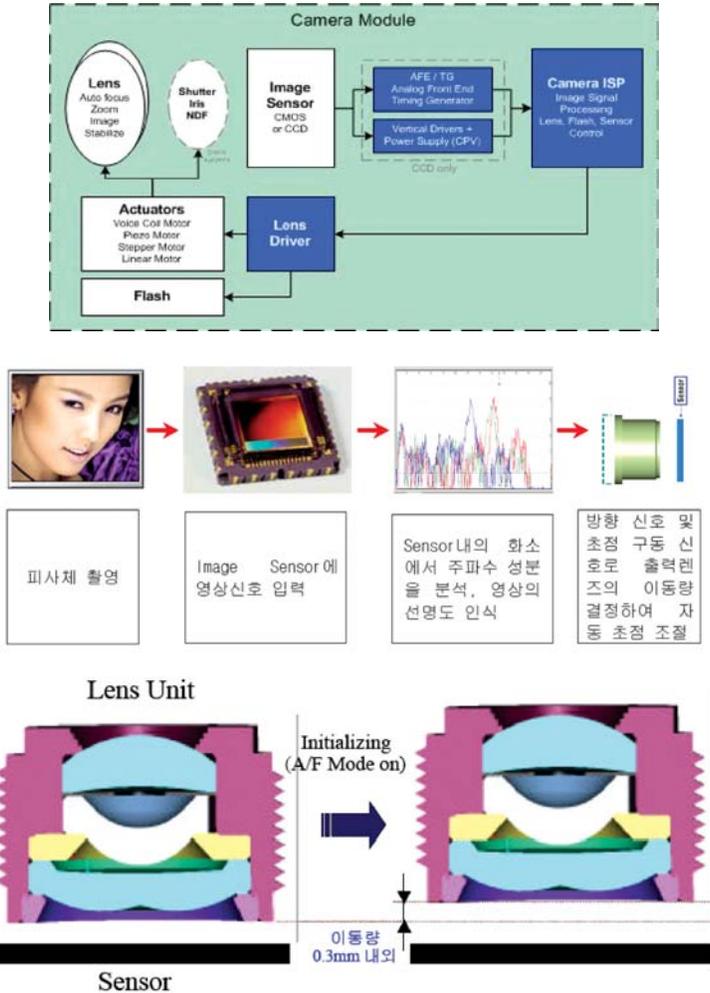


그림 3. 카메라 모듈의 구성도 및 AF 동작 원리<sup>[1,2]</sup>

DVC의 요구조건과 휴대전화용 카메라 모듈의 필요조건에 대하여 비교 정리하였다. 카메라 모듈의 경우 휴대전화의 하나의 부품임으로, 비용의 제한과 가능한 최소화되어야 한다는 공간적 제한, 그리고 통화시간에 지장을 주지 말아야 함으로써 생기는 저 소비전력이 가장 큰 제한 조건이다. 반면 DSC의 경우 최근의 디지털일안반사카메라 (DSLR; Digital Single Lens Reflex) 의 판매가 급증하는 추세가 말해주듯, 가장 첫번째 요구조건은 화질이고, 가격 및 크기가 그 뒤를 따른다.<sup>[2]</sup>

카메라 모듈의 공간적, 가격적 요구조건을 만족하기 위해 각 부품에 대해서 다양한 기술 (비구면렌즈, Glass Molding렌즈 등) 이 적용되고 있으며, 특히 AF 카메라 모듈에서는 액츄에이터에 노력이 집중되고 있는 상황이다. DSC나 DVC의 경우 크기에 제한을 적게 받기 때문에 현재까지 렌즈 이송 액츄에이터는 전자기방식의 스텝모터, DC 모터가 주로 사용되어 왔으며 이후에도 특수 용도의 카메라가 아닌 이상 지속적으로 사용되어 질 것으로 보인다. 하지만, 카메라 모듈의 경우 전자기방식의 스텝모터나 DC 모터를 사용하게 될 경우 필수적으로 추가되어야 되

는 종감속기어 및 기구구조물에 의해 부피가 증가하는 치명적인 문제가 발생하게 된다. 또한 전자기 방식의 스텝 모터, DC모터의 경우 초소형화 되었을 때, 효율이 급격히 저하되어 매우 높은 소비전력 (>500mW)를 구동시 필요로 하게 되어 카메라 모듈의 요구조건을 맞추기 어려워진다. 이에 새로운 초소형, 저소비전력의 새로운 액츄에이터들이 필요하게 되었으며, 전자기 방식의 음성코일모터 (VCM; Voice Coil Motor) 방식, 압전재료를 사용하는 압전 초음파 모터 방식 및 압전액츄에이터 구동방식, 형상기억합금 액츄에이터 구동방식, 고분자 재료를 이용하는 이온전도고분자 액츄에이터 방식 등이 치열한 경쟁을 하며 개발되고 있다.

표 1. 휴대전화용 카메라 모듈과 디지털 카메라 (DSC/DVC)와의 요구조건 비교<sup>2)</sup>

	Camera Phone	DSC / DVC ...
Priorities	1. Cost 2. Size 3. Power	1. Quality 2. Size 3. Cost
Actuator, Auto-Focus	Voice Coil Motor Stepper	Stepper
Lens	Small	Large
Future Actuators	Piezo Motor for Size, Power and Cost eventually	Stepper and DC Motors Will continue for some time with slow change-over to Piezo on consumer models

#### 4. 휴대전화용 AF 카메라 액츄에이터

휴대전화용 카메라 모듈에서 AF 및 광학줌 기능을 위해서는 광학렌즈를 광축방향을 따라 이송시켜 초점거리 및 배율을 변화시키게 된다. 이때 액츄에이터가 수행하여야 할 요구조건은 표 2 에 정리된 바와 같이 수 gf에 해당하는 발생력을 가지고, AF의 경우 1 μm이하의 위치 분해능을 가지면서 수 mm/sec의 선형이송속도를 가져야만 화상의 프레임을 놓치지 않고 AF 또는 광학줌 기능을 수행할 수 있다. 이때 휴대전화라는 전원의 제한조건으로 인해 이상적으로 배터리 전압보다 낮은 3V 이하의 구동전압과 100 mW 이하의 소비전력을 가지는 액츄에이터가 요구된다.

발생력이 낮을 경우 렌즈의 이송이 원활하지 못하며, 카메라 모듈 내부의 기구물 (렌즈 가이드, 위치센서등)의 마찰력을 극복하지 못하여 AF 또는 광학줌 기능이 동작 불능이 될 위험이 있으며, 또한 지속적인 사용 및 환경 진동에서도 취약할 위험이 있다. 또한 액츄에이터의 속도가 느릴 경우 화면 프레임간에 움직여 주어야 할 렌즈 이송구간을 충분히 이송시키지 못하여 화상처리프로세스 단계를 생략하는 문제가 생길 수 있으며 이는 곧 AF 시간의 지연으로 나타나게 되므로 충분한 속도와 발생력, 위치분해능을 가지는 액츄에이터가 필요한 것이다. 더욱이, 휴대전화라는 공간적 제약으로 가능한 최소화된 액츄에이터의 크기가 필요하다.

표 3 에서 현재 전 세계적으로 개발진행중인, 또는 이미 출시된 대표적인 AF 모듈용 전자기방식 및 압전방식 액츄에이터의 비교 분석표이다.

표 2. 카메라 모듈용 액츄에이터의 요구조건<sup>5,6</sup>

Motion Specifications	Phone Camera Module	
	Auto Focus	Optical Zoom
Force	2~10 grams	
Stroke	0.25 - 2 $\mu$ m	5 - 10 $\mu$ m
Resolution	2.5 - 5 $\mu$ m	5 - 25 $\mu$ m
Repeatabilitv	5 $\mu$ m	10 $\mu$ m
Speed	1 - 2 mm/second	5 - 10 mm/second
Voltage	Less than 40 Volts (Ideally less than 3 Volts)	
Power	Less than 500 mW (Ideally less than 100mW)	

표 3. 현재 개발진행, 출시중인 AF 카메라 모듈의 비교 분석표<sup>5,6</sup>

	Japan Sankyo Seiki	Japan FDK	Japan Konica-Minolta	Korea Hysonic	Korea Samsung EM	Hongkong Johnson-Nanomotion	UK 1 Ltd	Taiwan Sunnytec
Module size	11×11×10	12×12.5×10	12×13×9	12×10×10	9.9×9.8×5.4	9.5×9×6	8.5×8.5×6.1 9.5×9.5×7.6	9.5×9.5×6 11×11×6.5
Weight	2.3	1.5	-	-	-	-	-	-
Power Consumption	330mW	380mW	150mW	330mW	150mW	120mW	60mW	200mW (Target)
Driving Type	Step Motor	Step Motor	Piezo SIDM	VCM	Piezo Motor	Piezo Motor	Piezo Helimorph	Piezo Actuator
Pixel	1.3Mp	1.3Mp	2.0Mp	3Mp	3Mp	2Mp	2Mp	2Mp

초기 일본시장의 1.3Mp급 AF 카메라에 사용되었던 스텝모터가 적용된 AF 모듈 대비 VCM 또는 압전재료방식의 AF 모듈들은 크기나 소비전력면에서 월등히 우수함을 볼 수 있다. 특히 압전재료를 사용한 DC 구동방식 액츄에이터 (1 Ltd사, Helimprph액츄에이터)의 경우 크기나 소비전력면에서 타 경쟁 액츄에이터 대비 월등히 우수함을 확인할 수 있다. 일반적으로 알려진 각 액츄에이터의 장단점에 대해 비교해 보면 표 4 와 같다.

## 4.1 전자기 방식 액츄에이터

### 4.1.1 스텝핑 모터 (Stepping 모터)

그림 4와 그림 5는 스텝핑 모터의 구동 원리와 대표적인 스텝핑모터 (스텝핑 기어드 모터)구조를 보여준다. 스텝핑모터에서 그 내부를 구성하는 고정자라고 불리는 극의 수(전기적인 권선상의 수)에 따라 단상(1상), 2상, 3상, 4상, 5상, 6상 등의 종류가 있으며, 기본적으로 이 극의 수에 따라 motor의 step각 등의 기본 특성이 달라진다. 여기서는 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 4상 스텝핑모터를 예를 들어 동작원리에 대해 설명하도록 하겠다. 모터 출력축의 회전각은 전력 펄스가 입력될때마다  $\theta_1 \sim \theta_N$  으로 회전이 변화한다. 구동회로는 신호 펄스를 증폭할 뿐만 아니라 모터의 회전자계를 구성하는 여자 시퀀스 즉, 좌회전, 1상여자, 2상여자 등의 기능도 포함하고 있다. 먼저 tr1이 on으로 되어 코일 L1을 여자하면, 그림에 나타내고 있는 것과 같은 전류가 흘러 자석 로터축에 S

표 4. AF 카메라용 전자기방식 액츄에이터와 압전재료방식 액츄에이터의 비교<sup>5,6</sup>

Actuator Type	Advantage	Disadvantage
Voice Coil Motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• small size and low cost</li> <li>• No position sensor</li> <li>• Resolution 0.1um</li> <li>• Response time : 20~50ms</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Power consumption</li> <li>• stroke limited</li> <li>• Drop test</li> </ul>
Stepping Motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feedback encoder is not necessary</li> <li>• Driver is relatively simple</li> <li>• Reolution 10um</li> <li>• Response time : 100~200ms</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Home position sensor</li> <li>• High cost</li> <li>• Resolution is bad</li> <li>• Wearing issue</li> </ul>
Piezoelectric Actuator	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Small size and low cost</li> <li>• High holding torque</li> <li>• Low power consumption</li> <li>• Resolution 0.01um</li> <li>• Response tiem : 10ms</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High voltage(current : 60~100V, Target:3V)</li> <li>• Driving circuit cost</li> </ul>
Piezoelectric Motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Small size and low cost</li> <li>• High holding torque</li> <li>• Low power consumption</li> <li>• Resolution 0.01um</li> <li>• Response time : 10ms</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High voltage</li> <li>• Wearing issue</li> <li>• Driving circuit cost</li> </ul>

극이 발생한다. 여기에 S극이 발생하면 자석 로터 N극과 맞닿게 되어 자석 로터가 90도 회전한다.

다음에 tr2가 on으로 되어 다른 트랜지스터를 모두 off로 하면 이번에는 코일 L2가 여자되어 L2가 전자석으로 되고 앞에 것과 마찬가지로 자석 로터가 다시 90도 회전한다. 이 순서를 반복하며, 1스텝 각도가 90도이므로 4스텝 진행되면 1회전하는 방식이다.

스텝핑모터는 렌즈 위치 제어가 입력 pulse수에 비례하여 용이하고, 그 오차가 매우 적다. 또한 렌즈 위치 제어를 위한 feedback시스템이 불필요 할 뿐만 아니라, 위치 정밀도 또한 매우 우수하다. 하지만 스텝핑 모터는 상기의 장점을 가지고 있으나 크기, 소비전력, 종감속기어 (그림 5 참조) 의 문제점으로 인하여 초기 AF 카메라 모듈에서

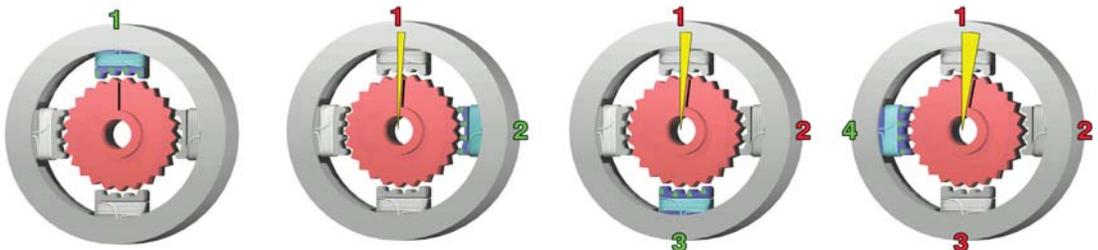


그림 4. 스텝핑 모터의 동작 원리<sup>5)</sup>

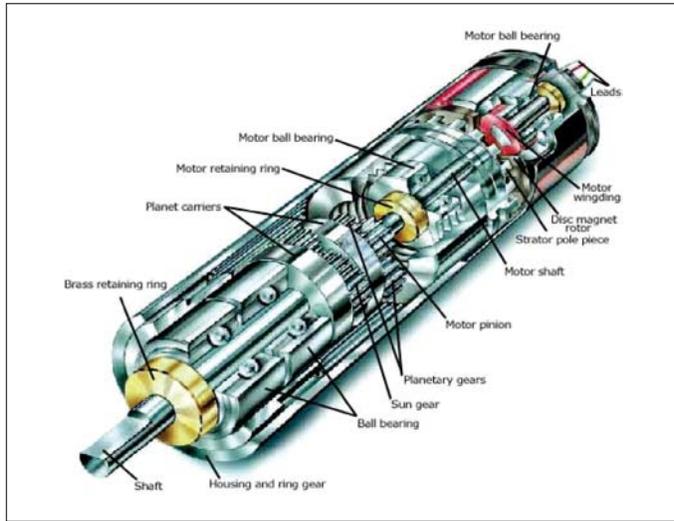


그림 5. 스텝핑 모터의 구조 (ADM 0620 Two-Phase Stepping Motor from MicroMo Electronics Inc.)<sup>[5]</sup>

는 많이 쓰였으나, 최근의 AF 모듈에서는 점차 사라지고 있다.

#### 4.1.2 음성코일 모터 (Voice Coil Motor)

음향 스피커의 구동원리와 동일한 방식의 전자기 액츄에이터로써 고정된 영구자석과 철심에 의해 강화된 자장 내에서 움직이는 코일로 구성되어 있다. 전류의 방향을 바꾸면 양방향 운동이 가능하고 선형 응답성 때문에 보통 오디오 음향 스피커, 컴퓨터 하드드라이브의 읽기/쓰기 헤드와 같은 제어용으로 많이 쓰이는 액츄에이터로써, 카메라 모듈에서는 공간적인 제한을 해결할 수 있는 장점이 있어 현재까지 가장 많이 AF 카메라 모듈에 사용되고 있다. 가운데 둥근 자석 주위를 코일이 둘러싸고 있으며, 코일에 전류가 흐를 때 발생하는 자기장의 힘에 따라 앞뒤로 자석이 이동하는 원리로 작동하게 되는데 (그림 6), 코일의 내부에 광학렌즈를 장착하면 카메라모듈의 초점거리를 바꿀 수 있다. 응답이 빠르고, 가이드와의 마찰이 없어 효율적이지만, 광학축 모듈에 사용하기에는 변위량이 작아 (~0.5mm) 사용하기 곤란하며, 렌즈의 이송중에는 지속적인 전력을 소비하는 단점이 있다. 크게 코일이 움직이는 방식과 자석이 움직이는 방식이 있고, AF 카메라 모듈의 경우 코일 이송방식이 주로 사용된다.

#### 4.2 압전 액츄에이터, 초음파 모터

압전재료의 압전 역효과를 이용하는 액츄에이터로서, 초정밀 기계장치에 주로 쓰여져 왔으나, 최근 AF 카메라 모듈의 액츄에이터로 가장 기대를 모으고 있다. 고전압의 DC전압에 의해 구동하는 압전 액츄에이터와 상대적으로 낮은 전압의 고주파 AC 전압에 의해 구동하는 압전 초음파 모터 (Piezoelectric Ultrasonic Motor)로 구분할 수 있으며, AF 카메라 모듈의 경우 압전 선형 초음파 모터가 비교적 많이 연구/개발되고 있다. 압전 초음파 모터의 구동 원리는 압전체에 공진주파수의 AC 전압이 인가될 시, 압전체는 기계적인 진동을 하게되고, 이 기계적인 진동은 마찰전달부재를 통해서 로터나 리니어가이드를 회전 또는 선형운동을 시키게 된다 (그림 7). AF 카메라 모듈의 경우에 별도의 증감속기어가 필요없는 선형모터가 좀 더 적합한 액츄에이터로 보이며, 일본 Konica Minolta, 국내 삼성전기 등이 양산/양산준비중에 있다. 압전 초음파 모터는 AF 카메라에 사용하기에 증감속기어가 없어 공간적으로

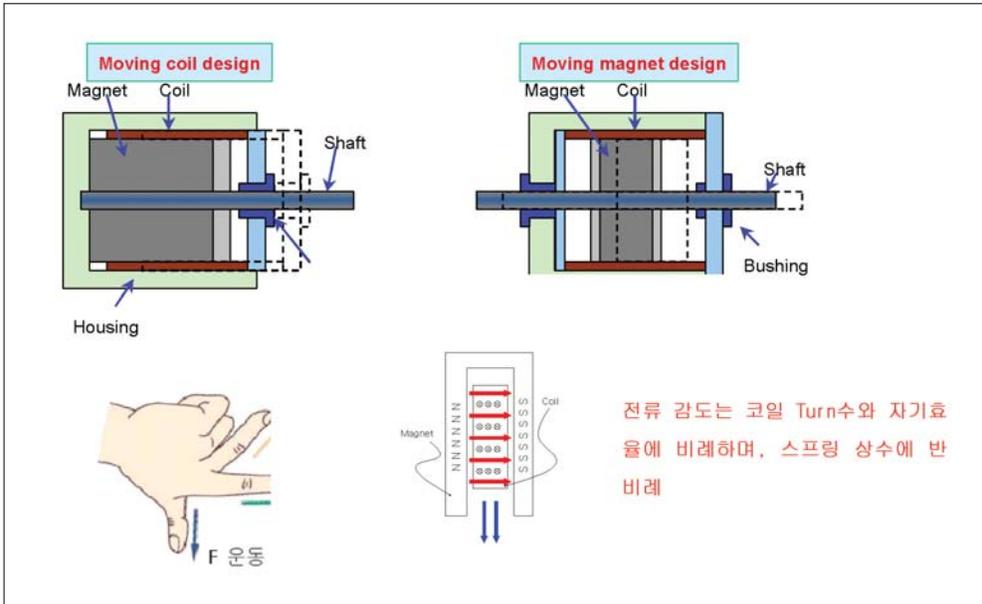


그림 6. 음성코일모터의 동작 원리<sup>[5]</sup>

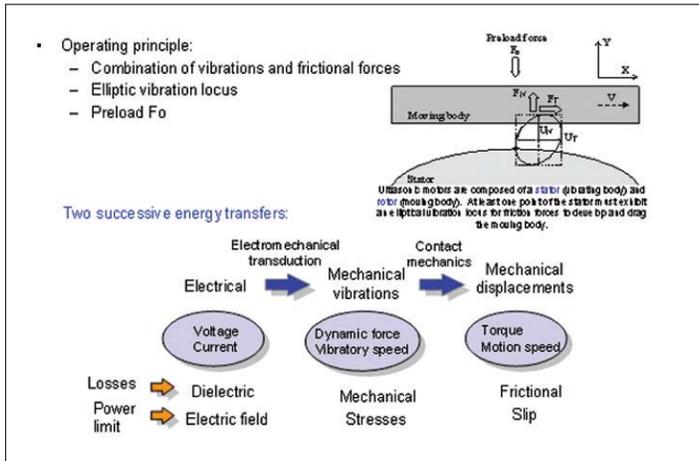


그림 7. 압전 초음파 모터의 동작 원리<sup>[5]</sup>

매우 유리하며, 낮은 소비전력 (~150mW), 높은 발생력, 렌즈고정시 소비전력을 필요로 하지않는 장점이 있다.

## 5. 압전 액츄에이터, 초음파 모터의 적용 예

### 5.1 DC 전압 구동형 압전 액츄에이터 (Helimorph<sup>®</sup>)

AF 카메라 모듈에 적용중인 DC 전압구동방식 압전 액츄에이터로는 가장 대표적으로 영국 1 Ltd 사의 Helimorph<sup>®</sup> 액츄에이터를 들 수 있다. 100mm<sup>2</sup> 내외의 면적에서 AF 기능을 위한 충분한 변위(>300 $\mu$ m)를 발생시키기에는 적층형 압전액츄에이터나 일반적인 압전 바이몰프 (bimorph) 액츄에이터로는 불가능하다. ~10mm 길



그림 8. 영국 1 Ltd사의 Helimorph<sup>®</sup> 액츄에이터<sup>[7]</sup>

이의 bimorph 액츄에이터의 경우 압전정수  $d_{33}$ 가 2000pC/N에 달하는 압전단결정을 사용하여도 약 100 $\mu$ m의 변위를 발생시킬 수 밖에 없다. 이를 해결한 영국 1 Ltd사의 Helimorph<sup>®</sup>액츄에이터는 2개의 압전층 이중 나선구조로 제작한 바이몰프 액츄에이터의 일종으로 +/- 80V의 전압인가시 약 2mm의 변위가 발생되며, 렌즈가 장착된 상태에서 약 700 $\mu$ m의 변위를 발생하여 AF기능을 하는데 충분한 변위를 가진다. 고전압구동을 하는 단점이 있는 반면, 전류의 소비가 거의 없어 액츄에이터 구동에 필요한 전원은 수mA 이하의 저소비전력형 액츄에이터이다. 하지만 약 200 $\mu$ m 두께의 압전세라믹 스트립을 이중나선구조로 만들었기 때문에 낙하나 충격에 매우 취약하여 카메라 모듈의 기판 보호세척장치나 구조 설계에서 신중히 고려해야 하는 단점도 있다.

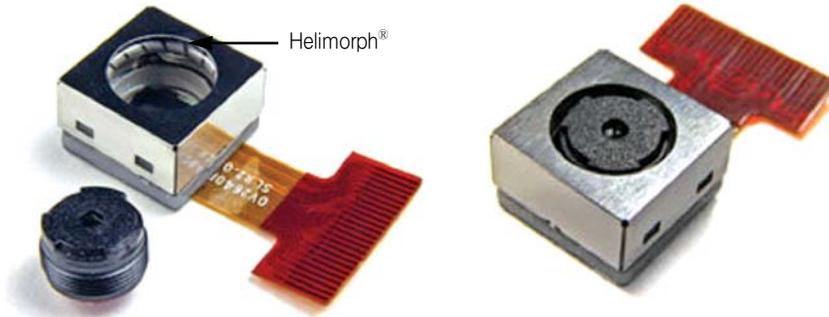


그림 9. 영국 1 Ltd사의 Helimorph<sup>®</sup> 액츄에이터가 장착된 AF 카메라 모듈 <sup>[7]</sup>  
(왼쪽사진의 카메라 모듈 내부에 Helimorph<sup>®</sup>액츄에이터의 실장모습을 볼수 있다)

## 5.2 SIDM방식 선형 압전 초음파 모터

SIDM (Smooth Impact Drive Mechanism)은 일본 동경대학교 정밀공학과와 Higuchi교수에 의해 처음 제안되어 현재 압전 선형모터의 대표적인 구동기구가 되어있는 방식이다. SIDM의 구동 원리를 그림 10에 나타내었다. 이방식은 질량의 관성모멘트를 이용하는 방식으로, 압전 소자의 한쪽끝에 고정부재를, 반대편에 구동 마찰 부재를 설치해 구동 마찰부재에 이동체 (AF 카메라 모듈의 경우 렌즈)를 예압을 인가하여 고정시킨다. 압전 소자에 인가하는 구동전압을 천천히 증가시켜 압전소자가 천천히 늘어나게 하면, 이동체는 마찰부재와 함께 움직인다. 반면, 구동전압을 급격히 강압하여 압전 소자를 급속히 수축하게 하면, 이동체는 관성에 의해 마찰부와 미끄러져, 거의 그 위치에 머무르게 된다. 동작을 초음파대역 (수십~수백KHz)에서 반복하는 것으로, 비교적 긴거리의 이송거리를 가지는 선형 초음파 모터동작이 가능하다. 또한 압전 소자를 급속히 늘리고 천천히 수축시키는 동작의 반복을

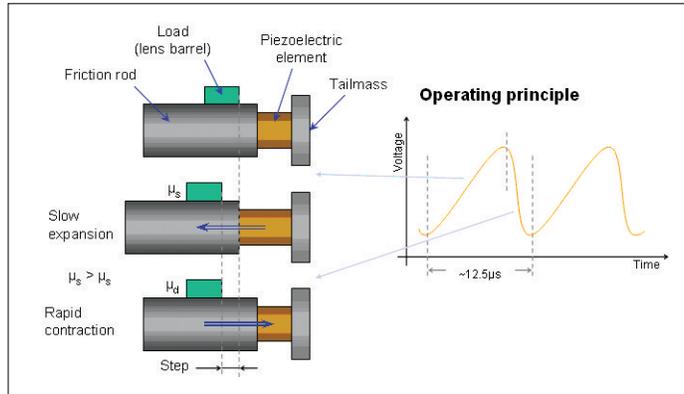


그림 10. SIDM 액추에이터의 구동원리<sup>[5]</sup>

반대로 함으로써, 역방향의 구동도 가능하다. 이 액추에이터의 특징은 구성이 간단하고 소형화가 유리하다. 또한 정방향, 역방향의 방향전환이 쉽고, 구동전압이 인가되지 않았을 때, 이송체를 고정하고 있을 수 있는 장점이 있지만, 발생력이 상대적으로 작아서 이송속도 및 위치분해능이 중력의 영향을 쉽게 받는다.

최근 일본 코니카 미놀타 (Konica Minolta) 사, 대만 서니텍 (Sunnytec) 사, 한국의 피에조테크 등에서 AF 카메라 모듈에 사용가능한 SIDM방식의 액추에이터를 개발 및 양산하고 있으며 이중 일본 Konica Minolta사의 경우 세계 최초의 AF카메라 모듈을 본 액추에이터를 적용하여 2003년 10월에 일본시장에 출시한바 있다.

그림 11은 일본 코니카 미놀타사에서 양산중인 SIDM 액추에이터의 실물 사진과 구조도이다. 일반적으로 알려진 사각막대형상의 적층형 압전 세라믹 (d<sub>33</sub>모드) 이 사용된 것이 아닌, 코니카미놀타사만의 원형형상의 적층형 압전 세라믹 (d<sub>31</sub>모드)이 사용하여, 구동전압 3Vp-p에서 약 50 nm/pulse의 위치분해능으로 2 mm/sec의 이송속도를 가진다.<sup>[3]</sup>

그림 12는 본 SIDM 액추에이터가 들어간 AF 카메라 모듈의 예로써, 대만 Sunnytec사의 Lobster<sup>®</sup> 액추에이터가 적용된 SIDM방식의 카메라 모듈 구조도이다. 일본 코니카 미놀타사의 액추에이터가 원형의 세라믹을 사용한 대신 서니텍사의 경우 일반적인 사각 적층세라믹을 사용하였다.<sup>[6]</sup> 또한 국내 피에조테크사의 경우 링형 압전세라믹과 금속원판을 사용하여 변위량을 확대한 액추에이터를 사용하여 현재 삼성테크윈사의 디지털카메라의 손떨림

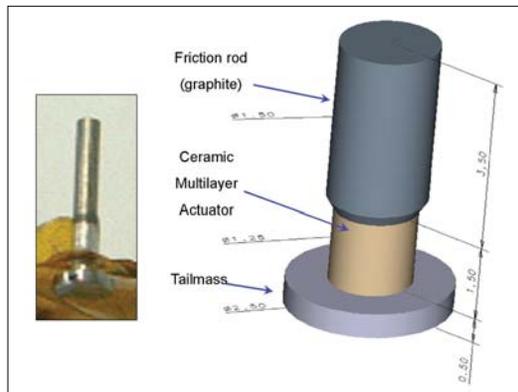


그림 11. 일본 코니카 미놀타사의 양산품 SIDM 액추에이터의 구조<sup>[5]</sup>

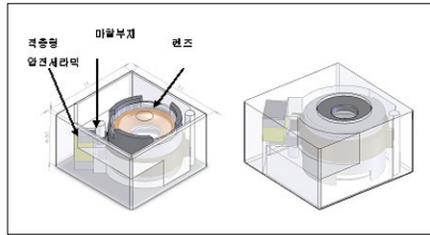


그림 12. 대만 서니텍사의 SIDM 액츄에이터(Lobster<sup>®</sup>)적용 AF 카메라 모듈 구조도<sup>[6]</sup>

보상용 액츄에이터로 적용되고 있다.

### 5.3 튜브형 압전 초음파 모터

1990년대 말에 미국 펜실베이니아 주립대의 Uchino 교수팀에서 처음 만들어진 금속튜브형 압전초음파 모터는 하나의 금속튜브와 2개 또는 4개의 압전판을 접착하고 각 압전판을 순차적으로 구동시켜 튜브의 워블링(Wobbling) 운동을 발생시킨다. 이때 튜브의 증공에 로터를 삽입하게 되면 접시돌리기와 유사한 방식으로 로터를 회전구동하게 된다. 세라믹튜브모터에 비해 제작과 공정이 단순하다는 제조측면에서의 장점과 일반 DC모터나 스텝모터와 동일한 회전운동을 가지면서도 토크가 커서 별도의 증감속 기어가 필요치 않아 사이즈면에서 유리하다는 특성적인 장점 때문에 카메라 모듈의 초기부터 많은 시도가 있어 왔다. 대표적인 예로써 국내 삼성전기와 미국 펜실베이니아 주립대 Uchino교수팀이 공동으로 개발한 초음파 모터를 적용하여 2004년 삼성전기에서 세계최초의 휴대전화용 2배 광학줌 모듈을 개발한바 있다 (그림 13). 회전형 초음파 모터이기 때문에 카메라 모듈에 적용을 위해서는 선형운동으로 바꿔주는 동력전달부품이 별도로 필요하고, 충분한 회전운동을 가지기 위해서는 스테이터 (튜브+압전판) 의 적정길이가 필요하지만, 이송거리에 제한이 없기 때문에 AF 카메라 모듈보다는 줌모듈에 유리한 액츄에이터이다. 최근 발표된 미국 New Scale Technologies사에서 Squiggle<sup>®</sup>이라 명명한 금속튜브형 압전 초음파 모터는 로터를 나사의 형태로 가공하여 튜브 (스테이터)의 워블링(Wobbling) 운동을 별도의 동력전달

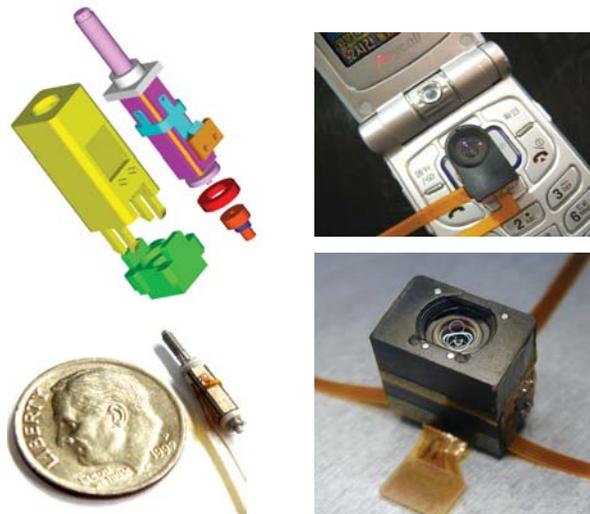


그림 13. 삼성전기의 2배 광학줌 카메라 모듈과 적용된 금속튜브형 압전 초음파 모터. 4개의 압전판과, 금속튜브로 구성되어 있다.<sup>[5,8]</sup>

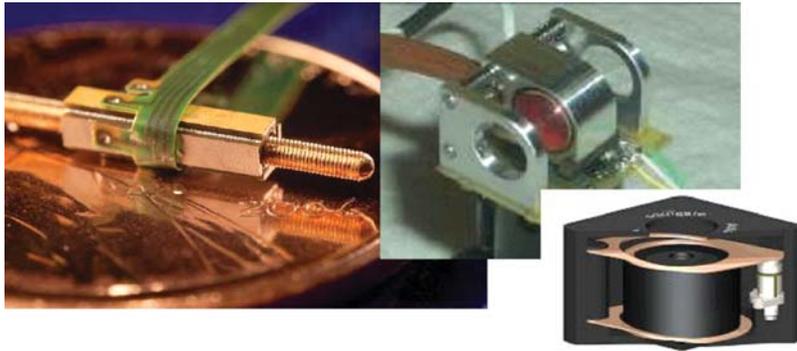


그림 14. 미국 New Scale Technologies사의 Squiggle® 모터와 적용된 AF 모듈 프로토타입 샘플 및 구조도.<sup>[4]</sup>

부품없이 모터 자체에서 바로 선형운동을 얻을 수 있는 장점이 있다.<sup>[4,5,8]</sup>

그림 14는 미국 Mew Scale Technologies 사에서 개발중인 Squiggle® 모터와 적용된 AF 카메라 모듈의 프로토타입 샘플의 구조 및 사진이다. 이 액추에이터의 경우 구동전압이 높고 (~30Vp-p) 제조공정의 변수(접착)에 의해 특성변화가 심한 것으로 알려져 있어 실용화까지는 다소 시간이 걸릴 것으로 예상된다.

#### 5.4 적층형 압전 초음파 모터

최근 국내 삼성전기, 홍콩(이스라엘)의 Johnson Nanomotion사, 독일 PI사등에서 휴대전화용 카메라 모듈에 적용하기 위해 활발히 개발하고 있는 액추에이터가 본절에서 소개할 적층형 압전 세라믹을 이용한 초음파 모터이다. 앞서 기술한 바와 같이 휴대전화용 카메라 모듈은 모바일 기기라는 특수상황으로 인해, 공간, 비용, 소비전력(또는 전압), 신뢰성에 많은 제한을 받고 있기 때문에, 가능한 단순한 구조와 낮은 전압 및 전력으로 구동되는 것이 이상적이다. 이에 압전 변압기, 적층액추에이터 등에 10여년전부터 적용되어 온 적층압전세라믹의 전극패턴을 적절한 진동모드가 나올수 있도록 설계하여 낮은 전압에서도 선형구동이 가능하도록 개발되고 있다. 본 구동방식의 대표적인 삼성전기에서 개발한 BAM 초음파 모터는 공진주파수에서 적층세라믹이 1차 종방향진동과 2차 굴곡진동이 동시에 발생할 수 있도록, 적층시 내부전극 패턴과 중횡비를 적절히 설계하여 적층세라믹의 끝단에서 타원형 변위 궤적을 얻는다. 이 타원형 변위궤적을 이용하여 이송체 (렌즈)를 광축방향으로 선형이송시킬수 있게 된다. 그림

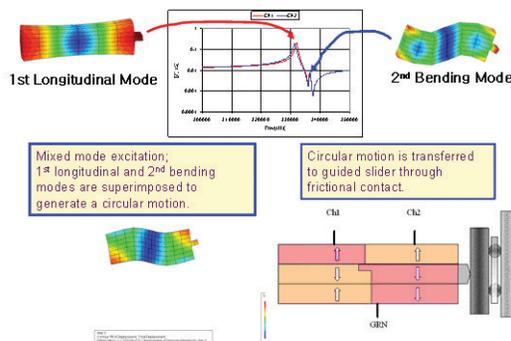


그림 15. 삼성전기의 BAM 초음파 모터의 구동 원리<sup>[5]</sup>

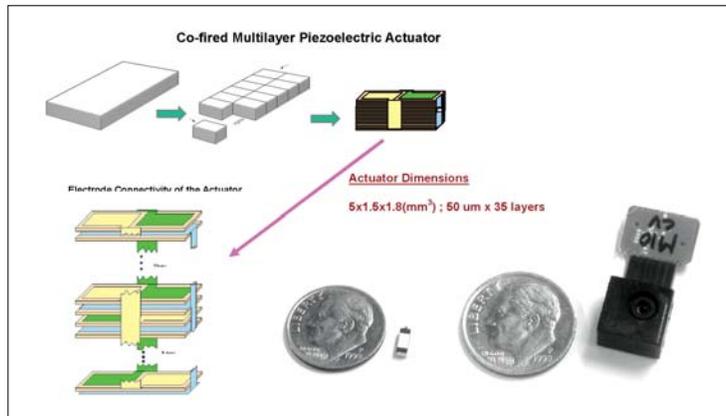


그림 16. 삼성전기의 BAM 초음파 모터의 제조공정 및 액츄에이터, AF 카메라 모듈<sup>[5]</sup>

15에 구동원리를 개략적으로 나타내었다.<sup>[5]</sup>

BAM<sup>®</sup> 초음파모터용 적층 압전세라믹의 제작공정은 그림 16에서 도시한 바와 같이 일반적인 적층 세라믹 제조 공정을 따른다. 즉 압전 후막을 스크린프린팅법으로 제조한 후 적층하여 소결한후 절단, 외부전극도포, 분극등의 공정을 거쳐 완성되며, 그 크기는 5×1.5×1.8mm의 직육면체로 내부에 50 $\mu$ m의 압전층 35개로 이루어 졌다.

유사한 방식의 적층 압전 세라믹을 적용한 AF 카메라 모듈로써 Johnson Nanomotion사의 카메라 모듈 (Nano Lens<sup>®</sup>) 구조를 그림 17에 나타내었다. 삼성전기의 BAM 초음파 모터용 적층 압전 세라믹의 굴곡모드 진동이 전극면과 평행한 방향으로 발생하는데 반하여 Johnson Nanomotion사의 적층 압전 세라믹의 굴곡모드 진동은 전극면과 수직인 방향으로 발생하도록 전극설계가 되어있다. 초음파 모터로써의 기본적인 동작원리는 삼성전기의 BAM 초음파 모터와 동일하지만, Johnson Nanomotion사의 초음파 모터의 경우 적층 압전세라믹이 이송체와 함께 움직이게 된다는 특징을 가지고 있다. Johnson Nanomotion사의 경우 동일 액츄에이터를 적용하여 줌모듈 (Nano Zoom<sup>®</sup>) 개발까지 완료하였으며 출시를 기다리고 있는 것으로 파악된다.



그림 17. Johnson Nanomotion사의 Nano Lens AF 카메라 모듈<sup>[9]</sup>

## 6. 맺음말

대표적인 휴대전화와 디지털 카메라의 디지털 컨버전스(Digital Convergence) 제품인 카메라폰은 이제 시장에

나온 지 불과 5년여에 지나지 않지만, 이미 강력한 휴대성과 DSC에 버금가는 카메라 성능을 바탕으로 유비쿼터스 시대에 가장 필수적인 생활용품이 되어 버렸다. AF 카메라 모듈시장이 2004년부터 열리기 시작하면서 AF카메라 모듈의 렌즈 구동용 초소형, 저소비전력 액츄에이터의 개발경쟁이 날로 치열해 지고 있으며 본 고에서 설명하지 않은 액체렌즈, 이온전도 고분자 액츄에이터, 압전고분자 액츄에이터, 정전기 액츄에이터, MEMS 액츄에이터 등의 다양한 시도가 세계의 연구소, 기업체 등에서 이루어 지고 있다. 또한 수년내 카메라폰 시장에서 현재 고성능 DSC/DVC에 장착되고 있는 광학줌, 진동보정용 자이로 및 액츄에이터와, 기계식 셔터 등이 등장할 것으로 보임으로, 휴대전화용 초소형 액츄에이터의 필요성은 날로 증가할 것으로 보인다. 현재 IT분야에서 가장 큰 시장인 휴대 전화에서 초소형 액츄에이터의 필요성이 급격히 증가하는 것은 압전세라믹스의 압전변압기 이후 새로운 시장확대의 기회임에는 의심할 여지가 없을 것이다.

## ❁ 참고 문헌

- [1] 전자부품연구원, “AF/Zoom Lens Unit 시장전망” (2004)
- [2] M. Conway, Analog Device, Private discussion
- [3] Y. Okamoto et.al., Konica Minolta Technology Report Vol 1 23-26 (2004)
- [4] D. Henderson, 47th ICAT/JTTAS Joint International Smart Actuator Symposium 5. 류정호 외, 2006, 한국세라믹학회 춘계발표회 (2006)
- [5] R. Lee, 47th ICAT/JTTAS Joint International Smart Actuator Symposium (2006)
- [6] <http://www.1ltd.co.uk/>
- [7] [http://sem.co.kr/cms/\\_work/kr/company/news/newsView.jsp-seq=221&pg=10](http://sem.co.kr/cms/_work/kr/company/news/newsView.jsp-seq=221&pg=10)
- [8] [http://www.johnsonelectric.com/pdf/NanoLens-data%20sheet\\_final.pdf](http://www.johnsonelectric.com/pdf/NanoLens-data%20sheet_final.pdf)



류 정 호

· 한국기계연구원 재료기술연구소 미래기술연구부 선임연구원  
· 관심분야 : 지능형재료 및 소자  
· E-mail : jhyu@kmail.kimm.re.kr



윤 은 하

· 한국기계연구원 재료기술연구소 미래기술연구부 선임연구원  
· 관심분야 : 압전소자 설계 및 평가  
· E-mail : uhyoon@kmail.kimm.re.kr



박 동 수

· 한국기계연구원 재료기술연구소 미래기술연구부장  
· 관심분야 : 신코팅공정, 기능성 후막코팅  
· E-mail : pds1590@kmail.kimm.re.kr