



가전기기의 저진동, 저소음 기술

임 무 생

(대우전자(주) 생활가전사업부 이사)

1. 서 론

가전기기의 진동과 소음은 제품의 고품질화에 상당히 저해되고 진동에 의한 소음이나 소음에 의한 진동을 해석하기 위하여 부단하게 노력하고 있다.

소리를 음이라 하며 음의 발생을 매질의 움직임에 의한 에너지 전달로 이해하고 있다. 따라서 음은 파동을 가지게 되어 음파(sound wave)로 불리는 파에 의해 이동되며 이 동시 주위의 매질에 압력 파동을 유발시킨다.

따라서 실내에서 발생하는 소리와 목욕탕등에서 나는 소리는 매질의 다른 성질(공기밀도)에 의해 다르게 느껴진다. 일반적으로 음의 주파수라하면 1초동안 음의 고저가 몇번 발생하였는가를 의미하며 사람이 소리로서 느끼는 주파수 범위를 20Hz에서 20kHz로 나타내어 가청 주파수라 한다.

그러나, 소리중에서도 사람에게 불쾌감을 일으키거나 심하면 고통까지 유발시키는 원하지 않는 소리가 있는데 이를 소음(noise)이라 부른다.

가전기기의 중요 소음 발생원이 유체소음,전자기소음, 기계적소음, 연소소음등 소음원의 종류에 따라 저소음기술을 해석하는데 상당한 차이가 있다.

따라서 사용조건별 설정기준을 정하고 설정기준에 따른 현상소음 level보다 약10dBA보다 낮은 소음 목표치로 설계되어야 한다.

2. 본 론

일반적으로 진동에 의해서 생기는 소음을 제어하는데는 소음분석에 의하여 발생하는 mechanism의 규명, 진동원의 원인 구명과 전달 경로의 해석, 진동 energy와 음향 energy의 변환 효율의 분석이 필요하다. 따라서 가전기기의 중요 소음원에 대한 저진동, 저소음 감소기술화가 가능하다.

2.1. 가전기기의 중요 소음원과 해당기기에 대한 소음의 목표

가전기기의 소음발생원이 변동요인에 따라 구분되어 지는데 fan, 냉매압축기는 유체력에 의하여 유체소음이 중요 소음원이고 motor, trans, 냉매압축기들은 전자력에 의하여 전자기소음이 중요 소음원이다.

real, 전자valve, 변속기, shaft는 불균일한 접촉력과 충격력에 의하여 기계적소음이 소음원이고 연소기는 연소 변동의 요인에 의하여 연소소음이 소음원 이다.

해당기기에 대한 설정조건에 의한 현상 소음level은 심야운전, 냉장고, low 냉난방기는 휴식, 수면을 방해하지 않은 30 dBA 정도이고, 주간이외의 단시간 운전하는 주스믹시기, 세탁기는 전화 청취가 가능한 55dBA 정도이며 옥외설치기기, 냉난방기의 실외기는 수면, 휴식을 방해하지 않은 40dBA 이다.

주간의 단시간 운전하는 기기, 전기전공청소기등은 tv 음성, 대화를 방해가 되지 않는 50dBA이며, 주간의 연속 운전기기, 냉난방기기, 환풍기, 선풍기등은 변칙적인 감으로 방해가 없되 는 40-45dBA이하가 설정조건에 의한 현상 소음 level이다.

따라서, 가전기기의 설계는 해당기기에 대한 소음 목표를 설정조건에 의한 현상 소음 level 보다 5-10dBA로 낮게 설계되어야 한다.

2.2. 고체 전달음의 감소기술

2.2.1. 냉장고

냉장고는 24시간 가동하기 때문에 진동 전달음이 생기는 200Hz이하의 주파수 대역에서 귀로 느낄수 있는 저주파음의 대책이 중요하다.

압축기는 3점고정으로 외부에 전달되는 힘을 최소화 해야하며 또한 냉장고의 배관계통은 배관의 묶음, 배관의 고정 clamping 부분으로부터 진동 전달의 유발 유무가 고려되어야 하며 부분 고정 clamping point의 반력을 작게토록 설계되어야 한다.

압축기의 소요방열량에 의한 최소 개구면적으로 결정되

어야 하는데 이는 개구면적비가 저음화에 큰 역할을 한다.

$$\text{저감량 (dBA)} = 10 \log \frac{\text{개선할 개구면적}(m^2)}{\text{현재의 개구면적}(m^2)}$$

2.2.2 에어컨

에어컨의 실외기에 대해서는 압축기의 흡입배관 및 토출배관의 접속, 압축기를 취부하는 base plate와는 고정관계이다. 이 base plate는 bead, bending을 가하여 clamping 시켜야 고유진동수가 50Hz 이상 높아진다.

열교환기의 방사면적을 크게하면 구조물에 전달이 확산되기 때문에 소음, 진동을 방사한다.

인버터 에어컨은 넓은 주차수 대역에서 소음, 진동을 줄일수 있다. 20Hz 이하의 강체 mode, 20-70Hz의 흡입 및 토출관의 탄성 mode, 70Hz 이하의 열교환기의 valve가 중요한 mode 이다.

실외기는 옥외에 설치하는 조건 mode를 설정할 필요가 절대적이다. 실외기 자체의 고유 진동수와 실외기를 설치하는 배란다의 바닥, 벽, chassis의 고유진동수를 분석하여 능동 소음 제어 개념으로 설계되어야 한다.

2.2.3. 세탁기

세탁기 현가 시스템에서 진동특성은 suspension bar의 고정위치와 길이, 고정각도, 강체의 무게와 관성특성의 영향을 받기때문에 이를 설계 변수로 해야 한다.

- 지지체와 회전체의 질량 및 관성특성
지지체 및 회전체로 이루어진 강체 현가 시스템의 동특성에 중요한 역할을 하는 물리량으로서 실험에 의해서 측정하는 방법이 있다. 또한 회전전자 원리를 이용하여 관성 특성을 구해야 한다.
- liquid balancer에 의한 원심력 산출에서 불균형 질량에 의해 회전체가 진동을 하게 되는데 정상 상태에 이르면 회전체의 회전 중심이 기하학적 중심에서 벗어나게 되고 이로 인해 liquid balancer의 염수가 한쪽으로 물리게 되어 불균형 질량에 의한 영향을 저감시켜주게 된다. 이때 불균형 질량의 위치와 회전체 및 지지체 무게가 차지하는 방향이 서로 반대방향이 된다. 따라서 불균형 질량의 위치와 염수가 물리는 방향이 회전 중심을 두고 서로 반대가 되어 balancing 효과를 내게 된다.
- 동특성 개선
balancer의 고정위치가 회전체의 상단에서 회전체의 상, 하단으로 위치 또는 회전체의 상단 1개소에서 회전체의 상단 2개소로 위치시키는 것이 바람직하다.

2.3. muffler theory에 의한 진동 소음감소 기술

muffler의 원리는 reactive muffler theory와 dissipative muffler theory가 있는데 진공 청소기의 저소음기술은 두가지 theory를 만족하는 기술이 필요하다. 따라서 반응형 소음기(reactive muffler)의 원리를 이용하여 발포 plastic에

steel을 일체로 성형시킨 case로 motor를 둘러싸 motor음을 흡음하며 외부로 방사 되는 음을 차단함에 motor의 최대풍량이 흡입될수 있는 최소 크기의 흡입구와 배기구를 형성하여 구멍에 의한 차음 효과의 감소를 최소화 한다.

또한 motor와 case 사이에 guide 설치에 의한 영향으로 음파 방향이 변환되는 2개의 흡음 bend가 형성되어 흡음작용 및 반사음을 음원으로 되돌려 보낸다.

압력 손실을 감소시키기 위해 muffler chamber의 출구면적을 입구면적에 비해 다소 크게 설계하여 배기구를 통과하는 공기속도를 감소시키며 jet flow의 확산을 허용시킨다. muffler chamber는 일반 청소기에 비해 공기 통로길이가 길어 소음, 진동을 감소시키고 분진의 filter역할도 한다.

다음은 분산 소모형 소음기(dissipative muffler)의 원리를 이용하여 case 외부에 차음 및 음파 반사 작용을 위해 흡음재가 부착된 muffler chamber를 청소기 본체와 일체로 구성하여 방진고무와 발포고무로 motor와 case를 취부하여 구조물간 진동전달을 억제하고 구조물간 sealing 설계로 음이 누설되는 것을 차단 시킨다.

이와같이 2가지 이상의 reactive & dissipative muffler theory를 접목시킨 muffler chamber system 이 진동 소음을 감소시키는 역할은 지대하다.

2.4. fan 소음의 감소기술

1차적으로 풍량, 정압을 유지하면서 소음을 저하하는 것이 중요하다. 따라서 소음특성과 공력 특성을 동시에 향상시키는 것이 필요하다. 또한 유량특성을 날개간의 흐름의 유선과 날개축에서 직교할 날개의 경사각의 최적화가 필요하다.

소음특성에 대해서는 흡입방향의 날개 경사각과 회전방향 날개각이 소음을 최소화시키는 중요한 역할을 한다. 유입되는 유체음 난류를 억제 시키는 형상과 움직이는 날개와 고정날개의 입구각과 출구각을 최적화 해야 한다.

Turbo fan 내의 공기의 난류 흐름을 방지하고 분사 nozzle의 선단부를 길게 해야 한다.

기체음은 shaft와 rotor의 구동부에 생기는 진동energy, 소음 energy를 흡수시키고 casing의 재질을 PMP로 함이 좋다.

온도 특성과 주파수 특성을 분석하여 표준mode에서 손실을 최소화 시키는 특성으로 해야 한다.

기화통의 공명음은 분무 nozzle에서 나오는 분사 jet음이며

$$\text{공명주파수 } f = \frac{C}{2\pi\sqrt{s}} \quad \begin{array}{l} S : \text{tank plate 단면적} \\ \ell : \text{tank plate 길이} \\ V : \text{기화통체적} \\ C : \text{음속} \end{array}$$

화염에 의한 음의 증폭은 혼합기중의 음은 화염면의 변동에 의한 증폭이다. 혼합 gas의 유속 변동을 최소화함이 바람직하다.

송풍음은 회전음과 난류음으로 구분된다. 회전음은 난류로 유입되는 날개에 의해서 발생하고 날개로 부터 유출된 후의 후류와 case의 간섭에 의해서 발생한다.

난류음은 날개로부터 유입되는 난류과형의 후류, 날개의 옆에서 들어오는 난류의 원인이다.

일반적으로 소음레벨(dBA) = 비소음(dBA) X 10log 압력손실² (pa) X 풍량 (m³/min)의 적용되는데 이 소음 레벨이란 송풍음을 의미한다.

송풍음을 줄이기 위해서는 송풍음은 압력 손실의 자승에 비례하기 때문에 압력 손실을 최소화 해야한다.

2.5. motor의 소음 감소 기술

2.5.1. 브러시리스 모터

종래의 일반 직류모터는 효율 및 동작특성이 양호하여 동력용은 물론 서보모터로서 널리 사용 되어왔다. 그러나 이것은 구조적으로 브러시 및 정류자를 가지고 있기 때문에 기계적인 마모로 수명이 길지 못하여 정기적인 보수를 필요로하며 브러시에서의 전기 및 자기적인 잡음이 발생하여 주위의 전자기기에 장애를 줄뿐아니라 소음이 발생하는 등의 여러가지 단점이 있다. 이와 같이 직류모터의 단점을 보완하기 위하여 일반직류모터의 브러시와 정류자를 트랜지스터와 같은 반도체 스위칭소자로 교체한 것을 브러시리스 모터 (brushless motor)라고 한다.

(1) 브러시리스 모터의 기본 특성

그림 1은 3상 브러시리스 모터의 발생 gap자속과 전기자 권선과의 관계를 도시적으로 나타낸 것이다.

여기에서 계자극의 수는 2극이고, gap자속은 정현파 분포를 하고 있다고 하면, 3상 전기자 권선에 흐르는 전류는

$$\begin{aligned} i_a &= I_m \sin \omega t \\ i_b &= I_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ i_c &= I_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

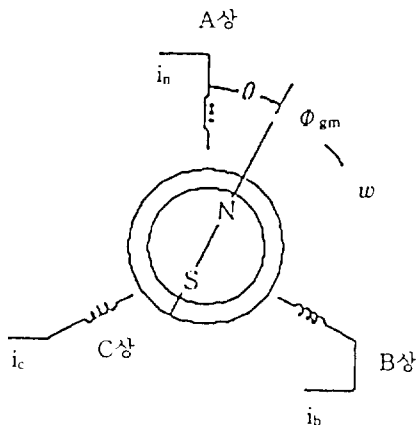


그림 1. 3상 브러시리스 모터

이고, 여기서 Im은 전기자전류의 진폭이다. 3상의 전기자권선과 쇄교하는 자속을 Φ_a, Φ_b, Φ_c 라 하고 gap자속의 최대치 Φ_{gm} 의 방향은 a상의 전기자권선과 θ 의 위상차를 갖고 있다고 하면, 이 경우의 각상 전기자권선과 쇄교하는 자속은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Phi_a &= \Phi_{gm} \cos \theta \\ \Phi_b &= \Phi_{gm} \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \\ \Phi_c &= \Phi_{gm} \cos \left(\theta - \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

단, Φ_{gm} 은 gap 자속분포의 진폭이다.

이때 3상 브러시리스 모터에 발생하는 토크T는

$$\begin{aligned} T &= K(\Phi_a i_a + \Phi_b i_b + \Phi_c i_c) \\ &= K\Phi_{gm}I_m \left[\cos \theta \sin \omega t + \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \right. \\ &\quad \left. \times \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) + \cos \left(\theta - \frac{4\pi}{3} \right) \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

이고, 여기서 K는 전기자권선의 도체수 등으로 결정되는 상수이다. 만일

$$\theta = \omega t - \tau \quad (4)$$

라고 하면, 식 (3)에서 발생토크 T는

$$\begin{aligned} T &= K(\Phi_a i_a + \Phi_b i_b + \Phi_c i_c) \\ &= K\Phi_{gm}I_m \left[\cos(\omega t - \tau) \sin \omega t + \cos \left(\omega t - \tau - \frac{2\pi}{3} \right) \right. \\ &\quad \left. \times \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) + \cos \left(\omega t - \tau - \frac{4\pi}{3} \right) \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \right] \\ T &= \frac{3}{2} K\Phi_{gm}I_m \sin \tau \end{aligned} \quad (5)$$

가 되고, 식(5)이 3상 브러시리스 모터의 기본적인 관계식이다. 식(5)에서 전류진폭과 자속진폭이 일정하다면 발생토크 T는 τ 에 의해서 결정되므로 τ 가 일정하면 토크 T도 일정하게 된다. 또한

$$\tau = \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

이라면 발생토크는 최대가 되고, 이것을 T_m 이라 하면

$$T_m = \frac{3}{2} K\Phi_{gm}I_m \quad (7)$$

이 된다.

식(7)으로부터 I_m 을 변환시키면 브러시리스모터의 발생토크는 I_m 에 비례해서 변화된다. 즉, 식(7)은 3상 브러시리스모터가 직류 모터와 동일한 특성을 갖는다는 것을 나타내고 있다.

여기서 중요한 것은 식(4)에 사용되고 있는 τ 를 일정하게 유지하는 것이지만 τ 는 그림 1에 나타낸 것 처럼 A상 전기자전류와 gap 자속과 이룬 각도 θ 에 의해 결정된다는 점이다. 따라서 3상 브러시리스 모터에서는 앞에 서술한 각 θ 를 검출해야만 한다. 즉, 그림 1에서 회전하는 계자극의 A상으로부터의 위치를 검출한다. 이를 위해서는 계자극의 절대위치를 검출하는 검출기가 필요하게 되고 검출기에 의해 검출된 θ 로부터 τ 를 구해서, τ 를 일정하도록, 즉, $\tau = \pi / 2$ 가 되도록 제어계를 동작시킨다.

위의 식(6)이 성립하는 경우에 있어서 전기자전류 i_a, i_b, i_c 및 전기자전류와 쇄교하는 자속 ϕ_a, ϕ_b, ϕ_c 와의 관계와 전기자전류와 쇄교하는 자속에 의해 발생하는 토크를 그림 2에 나타낸다. 식(5)로부터 각 상 전기자전류에 의한 토크 T_a, T_b, T_c 는 각상 전기자 전류 주기의 2배의 주기로 변하고, 또 토크 T_a, T_b, T_c 는 0으로부터 정(正)의 범위에서 진동하는 것을 알 수 있다. 그러나 여기서 T_a, T_b, T_c 를 모두 합하면 식(7)에 나타낸 것처럼 T_m 으로 일정하게 된다.

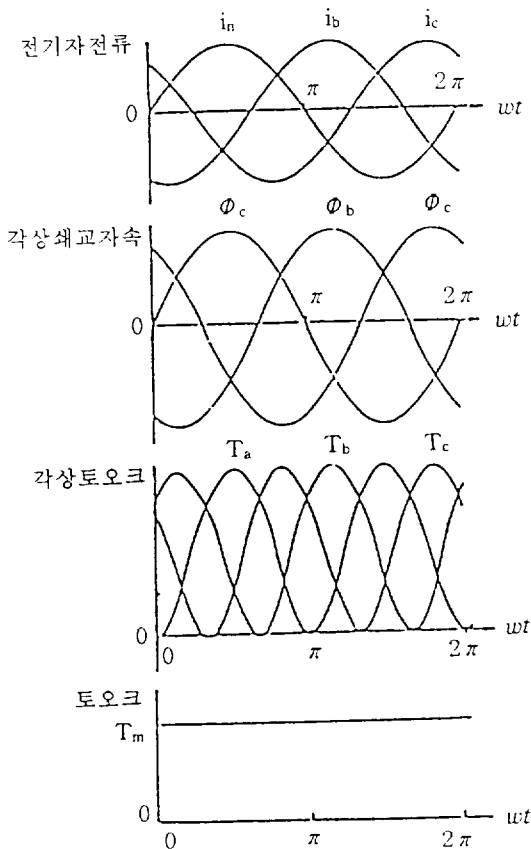


그림 2. 토크의 발생

표 1. 전기자코일의 구동방식 분류

* 전기자코일의 상수에 따라	
┌	2상방식
	3상방식
	다상방식
* 전기자코일의 전류방향에 따라	
┌	반파방식
	전파방식
	┌ 단전원방식
	└ 양전원방식

이 T_m 에 관한 식(7)을 고쳐 쓰면

$$T_m = K_T' I_m \quad (8)$$

$$K_T' = \frac{3}{2} K \phi_{gm} \quad (9)$$

이 된다.

한편, 계자극의 절대위치를 검출하는 검출기로서는 싱크로레졸버, 로터리엔코더 또는 홀센서등이 있는데, 일반적으로 홀센서를 이용한 검출기가 많이 사용된다.

(2) 브러시리스 모터의 구동방식 분류

브러시리스 모터는 위치검출회로와 전기자 전류(轉流)회로를 가져야하므로 브러시리스 모터에서는 이 두부분이 구조적으로 포함되어 있게 된다.

따라서 일반적으로 이들 회로를 합하여 브러시리스 모터의 구동회로라고 하지만 여기서는 전기자전류 회로만을 생각하기로 한다.

브러시리스 모터의 구동방식은 모터제어 시스템전체의 성능이나 가격을 결정짓는 중요한 사항이다. 전기자코일의 구동방식에는 표 1에 나타낸 바와 같이 코일의 상수에 따라 2상, 3상, 다상방식등으로 나눌 수 있고 각코일의 전류방향에 따라 반파방식과 전파방식으로 나눌 수 있으며, 전파방식은 다시 전기자코일의 중성점을 접지하고 플러스(+)전원과 마이너스(-)전원을 사용하는 양전원 방식과 중성점을 접지하지 않는 단전원방식으로 나눌 수 있지만, 일반적으로 이들 중 가장 많이 사용하는 방식은 토크리플이 가장 적고 효율이 높은 3상전파 단전원 방식이다.

(3) 브러시리스 모터의 특징

브러시리스 모터의 특징을 일반 직류모터와 비교하여 보면 다음 표 2와 같다.

위의 특징 외에도 브러시리스 모터는

- * 순간허용 최대토크와 정격토크의 비가 크다
- * 냉각이 용이하다.

등의 장점을 가지고 있으나, 한편

- * 회전자의 관성을 작게 하는데 제한이 있다.
- * 일반적으로 회전자에 페라이트 자석을 사용하므로 체적당 토크가 작다.

표 2. 브러시리스 모터와 일반 직류 모터의 비교

항 목	일반 직류 모터	브러시리스 모터
기본구조	회전 전기자형	회전 계자형
회전자 위치 감출	브러시의 기계적 위치	위치검출소자및 로직회로
정류방법	브러시와 정류자의 접촉	반도체소자의 전자적스위칭
역회전방법	단자전압의 극성을 변경	스위칭 순서를 변경
특 정	<ul style="list-style-type: none"> • 대응성및제어성이 우수 • 정기적인 보수필요 • 전기,기계적인 잡음 발생 • 브러시 정류자 사용으로 고속운전 불가능 • 외형이 큼 	<ul style="list-style-type: none"> • 수명이 장시간 • 보수가 불필요 • 전기,기계적인 잡음 없음 • 고속운전 가능 • 소형, 박형화가 가능

* 일반적인 직류모터에 비해 비교적 가격이 높다.

등의 단점도 가지고 있다.

그러나 이러한 결점도 최근 자성재료, 위치검출소자, 스위칭 소자의 발전및 서보회로의 IC화 등으로 빠르게 개선되고 있다.

(4) 브러시리스 모터의 용도

브러시리스 모터는 그 특성상 가격이 비교적 고가가 되므로 가격적인면을 고려하여 용도가 결정되고 있다. 용도로써는 매우 낮은 노이즈를 요구하는 장치, 초고속 회전을 요구하는 장치, 장기수명이 필요로 하는 장치등을 들을 수 있다.

예를 들면 vtr의 실린더 모터, 레이저 프린터의 스캐너용 모터, 컴퓨터의 단말, 의료기등에 많이 사용된다.

3. 결 론

최근 소음,진동 문제가 환경문제로 대두되면서 진동, 소음의 원인구명 및 대책에 관한 연구가 진행되고 있다. 차음 및 방음 대책에 있어서는 발생음의 소음을 줄이는 기술인데 이는 muffler theory나 차음 cover가 실용적 이다.

회전체를 갖는 현가 system의 구조적 동 특성, 냉장고의 고체 전달음의 감소기술, 압축기의 소음감소기술, room aircondition의 실외 압축기의 소음 감소기술, 실내기 송풍음의 소음 감소기술, turbo fan의 소음 감소기술, 진공청소기의 소음 감소기술등의 연구는 각 주파수 성분의 음의 음압은 가청음압이하로 설계되어야 하고 기기전체의 진동, 소음 해석보다 먼저 선행되어야 할 과정은 element를 simulation한후 component의 해석, 그다음에 기기전체를 simulation하는 process가 중요하다.

모터의 출력이 크든지 고속 회전하는 모터가 있는 전기, 전자기기는 모터에서 소음 발생원이 되어 소음이나 진동이 전기, 전자기기의 본체의 어느 부분에서 resonate 현상이 확대 되기조차 하기 때문에 layout을 optimum design하는 것이 중요하다.

참 고 문 헌

- [1] R. D. Blevins, Flow-induced vibration, 1987, VAN Nostrand reinhold company, USA
- [2] Cumsty, M.A., 1989, Compressor Aerodynamics, Longman Scientific & Technical
- [3] "브러시리스 직류전동기의 가변속구동에 관한 연구개발," 연구보고서, 인하대학교 산업 과학기술 연구소, 1994.
- [4] M.S LIM, 1993. "Noise analysis technique in an electric vacuum cleaner", Journal of the korean society of mechanical engineers, Vol.33.1, 93
- [5] M.S LIM "가전기기의 저소음기술". The magazine of the KITE, Vol.22, No. 1, 1995
- [6] 정경렬외 3인, "Computer simulation for dynamic analysis of rigid body suspension system for washing machine." KSNVE., Vol. 3 No.1, March 1993.

저 자 소 개



임무생(林茂生)

1944년 4월 5일생. 1973년 2월 한양대 공대 기계공학과 졸업. 1978년 11월 수출진흥 발진과 수출시장개척 유공자 - 대통령표창. 1992년 4월 과학기술진흥과 산업발전 유공자 - 석탑산업훈장. 1994년 6월 서울대 공대 최고산업전략과정 수료. 현재 대우전자(주) 생활가전사업부 이사. 주요저서:플라스틱 제품설계, 기전연구사 [1990], 플라스틱 사출가공과 금형, 기전연구사 [1990], 엔지니어링 플라스틱 고품질 노-하우, 기전연구사 [1990], CAE & CAD & CAM 기전연구사 [1991], Press 부품설계, 기전연구사 [1993], 한국적 슬기가 세계를 이긴다, 신구미디어 [1993].