

# 유도 전동기의 동력전달매체로 사용되는 벨트의 장력 보상 알고리즘에 관한 연구

論 文
48A-9-10

## A Study on the Compensation Algorithm for Tension of Belt which is used as the Force Transfer Media of Induction Motor

金承煥\* · 林茂生\*\*  
(Seung-Hwan Kim · Moo-Saeng Lim)

**Abstract** - This paper presents an algorithm compensating for the change of tension acting on a belt which is used as a force transfer media of the induction motor that drives a washing machine. The induction motor adopted in a washing machine is operated not only for the power-transmission device, but also for the detection of clothes load. The load of clothes is determined by the duration of inertial rotation which is occurred by the induction motor during a specific time. The tension of belt also affects the determination of clothes load as another load and this change of the tension is a significant disturbance for accurate determination. This paper mentions the algorithm compensating for the amount of change in tension and the application of the algorithm proved to be effectively increasing the washing performance and reducing the noise and the vibration.

**Key Words** : 세탁기, 벨트, 장력, inertia, tension

### 1. 서 론

세탁기의 진동은 내구성에 매우 나쁜 영향을 미치며, 소음은 소비자에게 있어서 가장 큰 불만요소 중의 하나이다. 세탁이나 행균행정이 끝난 후, 탈수행정이 시작되기 전의 빨래의 분포형상은 탈수시의 진동, 소음과 밀접한 관계가 있다. 즉 빨래가 한쪽방향으로 많이 쏠리게 되면 당연히 탈수시의 진동이 심해지고 이에 따라 소음이 발생하게 된다.

세탁물의 쏠림 정도에 영향을 미치는 인자에는 욕비와 수류타임, 수위 등이 주요한 요소이다. 그러나 욕비의 경우에는 세탁기 외형크기의 증가, 설계상의 문제점 등에 의하여 변질이 용이하지 않은 인자 중의 하나이다. 이에 반해 수위 및 수류타임 등의 인자들은 적절하게 설정할 경우, 진동 및 소음을 감소시키는 데에 효과가 매우 크다. 특히 세탁물의 꼬임률 즉, 세탁물간의 상호간섭에 의한 영킴현상의 정도는 고속회전에 의한 탈수시의 진동에 직접적인 영향이 있는데, 수위가 세탁물간의 영킴을 좌우하는 가장 큰 변수인 것으로 밝혀졌다.

수위는 세탁기가 판단하는 세탁물의 양에 따라 결정되는 요소이다. 따라서 세탁물의 양을 정확하게 판단할 수 있다면 이에 가장 적합한 수위를 설정하고 세탁 및 행균행정을

수행하면 영킴에 의한 탈수 진동 및 소음을 줄일 수 있다. 그런데 세탁물의 양을 판단하는 데에 나쁜 영향을 미치는 것이 벨트의 장력이다.

벨트를 통하여 동력을 전달하는 구조를 갖는 시스템은 무수히 많다. 그 중의 한 예가 세탁기이다. 물론 세탁기 중에서도 전동기축이 최종 구동축이 되는 경우에는 벨트가 불필요하지만 대부분의 경우 벨트를 통해 구동되는 축이 최종 구동축이 된다. 즉, 작은 용량의 전동기로 세탁물과 세탁수의 혼합물을 회전시키는 큰 부하를 출력하기 위해서는 감속을 통해 토크를 증가시켜 주어야 하기 때문에 반드시 벨트와 같은 매체를 필요로 한다. 세탁기는 대부분의 경우, 그림 1과 같이 전동기와 세탁기 내부의 물과 의류를 회전시켜 주는 회전판축이 분리되어 있고, 전동기의 회전력을 회전판에 전달해 주는 매체로 벨트를 사용한다.

단상유도전동기를 구동시키기 위해서는 기동시킬 때 기동용 콘덴서가 사용되고 회전자와 고정자의 코일에 연결된다 [1]-[3]. 세탁기에서는 이 콘덴서가 기동용으로 뿐만 아니라 부하량 판단용으로도 사용된다. 예를 들어 전동기에 0.3초간 전원을 가한 후에 전원을 제거하면 이 0.3초간은 전원에 의하여 회전하고, 0.3초 이후에는 관성력에 의하여 회전한 후에 정지하게 된다. 이 때 콘덴서의 전압을 보면 0.3초간은 입력 AC 전압이 유도되고 관성력으로 회전하는 동안은 이 전압은 방전되어 작아지는데 방전되어 가는 시간이 전동기의 부하에 비례한다. 여기에서 부하는 전동기에 의해 벨트로 구동되는 회전판 위(세탁기 내부)에 있는 의류의 무게를 말하고 이러한 방전되어 가는 시간을 이용하여 의류의 무게를 판단한다. 그러나 이 시간에 영향을 미치는 부하로는 의류의 무게 이외에 벨트의 장력 또한 작용한다. 따라서

\*正 會 員 : 大宇電子(株) 모니터연구소 主任研究員

\*\*正 會 員 : 테크라프(株) 代表理事

接受日字 : 1999年 4月 27日

最終完了 : 1999年 7月 9日

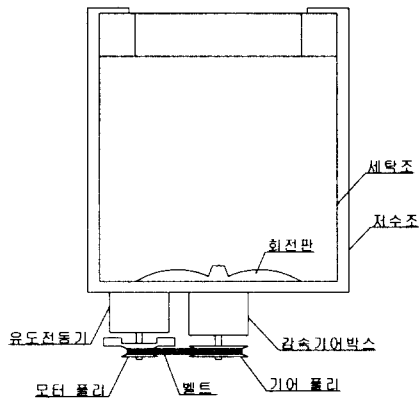


그림 1 세탁기의 개략적인 구조  
Fig. 1 Simple description of a washing machine

벨트장력이 각 세탁기마다 다르거나 시간에 따라서 벨트장력이 변한다면 이 차이에 따라서 의류의 무게를 다르게 판단하게 될 것이다. 그러나 벨트의 특성상 체결한 후에 영구적으로 변하지 않게 만들 수 없고, 변할 때마다 사용자가 맞게 조정해 줄 수도 없다.

본 논문에서는 벨트장력이 변하더라도 변한 만큼을 소프트웨어로 보상하여 결과적으로 장력변화의 영향을 받지 않는 효과를 낼 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

## 2. 부하 판단 알고리즘의 개요

콘덴서에서 발생하는 전압을 직류전압으로 변환하여, 바뀌어진 구형파의 에지(edge)사이의 시간 간격을 부하 판단의 근거로 사용한다. 변환회로는 그림 2에 나타나 있다.

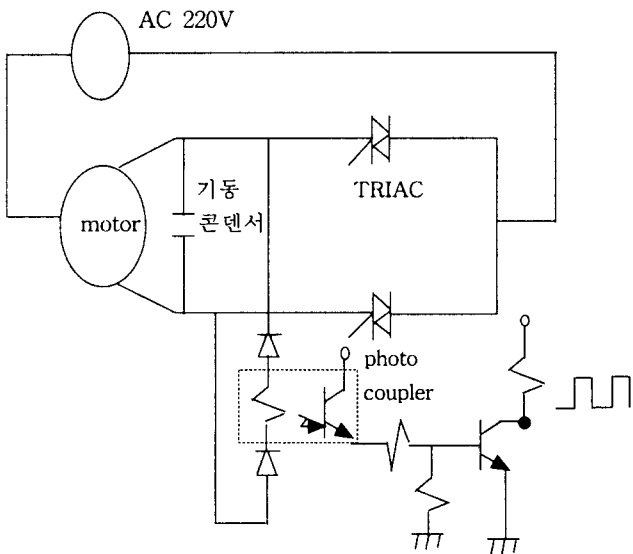


그림 2 콘덴서에서 발생하는 전압을 DC전압으로 바꾸어 주는 회로  
Fig. 2 Circuit that is converting condenser voltage into DC voltage

벨트장력이 일정하다고 가정할 때 부하로 작용하는 것은 세탁조안의 세탁하고자 하는 의류이다. 관성회전에 의하여 발생하는 전압의 파형은 그림 3에 나타난 바와 같이 시간에 따라 감쇄하는 교류이다. 벨트장력이 동일하다고 가정할 때 의류의 무게에 따라서 달라지는 전압의 파형의 차이가 그림 4에 나타나 있다. 부하가 크면 콘덴서에 남아 있던 전압이 급격히 소모되고, 작은 경우는 서서히 소모된다.

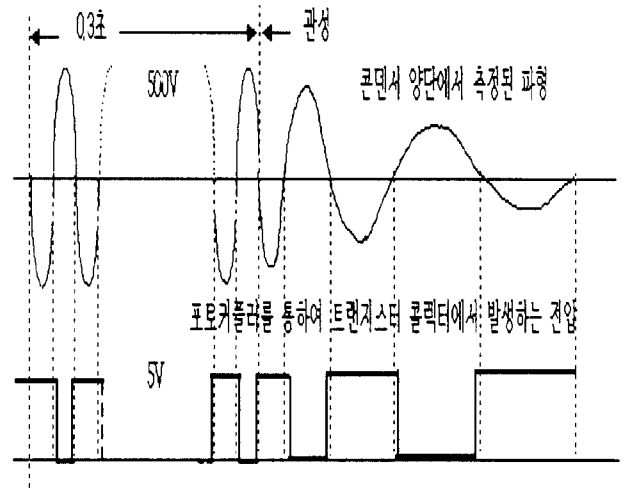


그림 3 콘덴서 전압 파형과 트랜지스터의 콜렉터 전압  
Fig. 3 Condenser voltage waveform and Transistor collector voltage

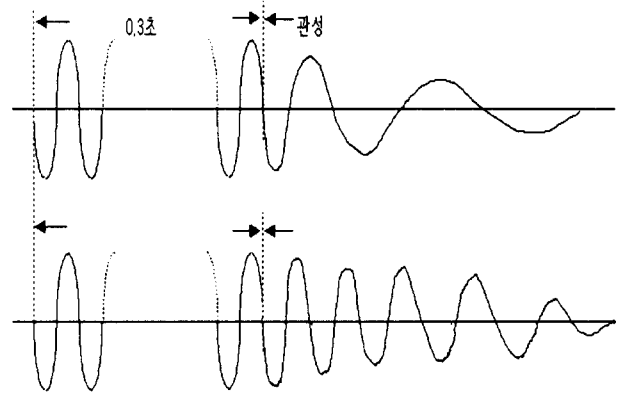


그림 4 부하가 클 때(위)와 작을 때(아래)  
Fig. 4 Load is high(upper) and load is low(lower)

의류의 무게는 그림 5와 같이 구형파 전압의 상승에지(rising edge) 사이의 시간 간격의 길이 정도로 판단한다.

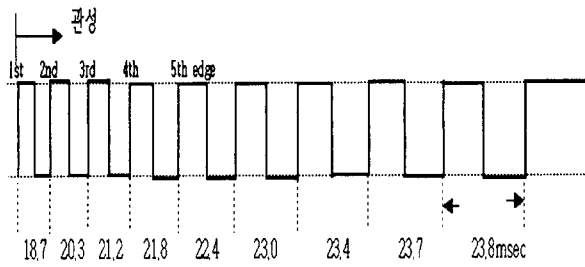


그림 5 관성일 때의 트랜지스터 콜렉터 전압  
Fig. 5 Transistor collector voltage at inertia

3. 부하로 작용하는 장력의 영향

그림 6은 세탁기의 유도전동기를 0.3초간 구동시키고 0.7초간 전원을 차단하는 것을 3회 반복하면서 0.7초내에 관성회전일 때 생기는 트랜지스터 콜렉터 전압중 세 번째와 네 번째의 상승에지사이의 시간간격을 3회 평균한 값을 구한 결과로서 세탁기안에 실제 의류(Y셔츠)를 400g씩 증가, 투입시키면서 측정하였다. 벨트장력은 각각 100, 300, 500gf이고, 상승에지간 시간간격의 단위는 msec이다.

그림 6에서 벨트장력에 따라서 같은 부하에 대한 시간간격의 값이 다름을 확인할 수 있다. 각각의 곡선이 완전한 선형을 이루지 않는 것은 세탁조와 의류와의 불특정 마찰에 의한 영향 때문이다. 여기서 나타내고자 하는 것은 같은 무게라고 할지라도 벨트장력에 따라서 무게의 판단근거가 되는 상승에지간 시간간격의 값이 다르게 형성된다는 점이다.

4. 장력을 보상하지 않는 부하 판단 알고리즘

기존의 부하감지방법은 어느 하나의 벨트장력에서 결정된 무게에 따른 시간간격의 값을 마이컴에 내장시켜 사용한다. 그러나 벨트의 장력이 초기에 다르게 설정되거나 세탁기 사용시간에 따른 변화가 생겼을 때는 무게를 오판하게 된다. 마이컴에 기억된 판단기준(무게 vs. 상승에지간 시간간격)이 벨트장력 300gf일 때의 곡선이라고 가정하고, 사용자가 실제로 세탁기에 4.2kg의 의류를 투입하고 시작버튼을 누르면 부하를 판단하기 위한 동작(전동기 0.3초/0.7초 on/off 3회)을 수행하게 된다. 만일 이 세탁기의 실제 벨트장력이 100gf으로 변화되어 있었다면 상승에지간 시간간격은 약 23msec로 측정될 것이고, 마이컴은 이 값에 의해 무게를 3kg(300gf의 곡선에 따라서)으로 오판할 것이다. 만일 벨트장력이 500gf으로 작용한다면 상승에지간 시간간격은 약 24.6msec로 측정될 것이고, 마이컴은 이 값으로 무게를 5.2kg(300gf의 곡선에 따라서)으로 오판할 것이다. 실제로는 이 이상의 큰 값의 오차를 갖는 경우도 발생한다.

따라서 마이컴에 기억된 판단기준(하나의 벨트장력에서 부하에 대한 상승에지간 시간간격값의 관계)과 실제 사용시의 벨트장력이 다르게 되면 무게를 오판하게 된다. 이렇게 되면 부적합한 물의 양을 급수하게 되고 이것이 바람직하지 못한 세탁성능으로 나타나게 된다. 그림6에서 계열1=장력 100gf, 계열2=장력300gf, 계열3=장력500gf 이다.

벨트장력에 의한 영향

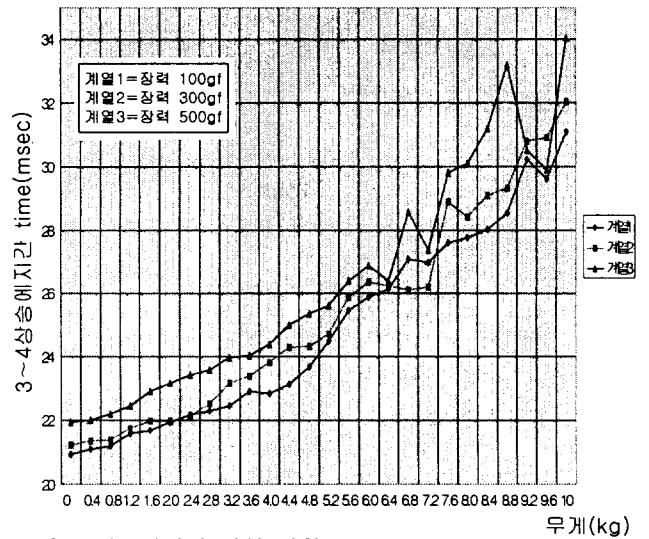


그림 6 벨트장력에 의한 영향  
Fig 6 Effect of belt tension

5. 장력을 보상하는 부하 판단 알고리즘

하나의 벨트장력에 의한 무게에 대한 time값의 기울기와 초기값(무게가 0kg일 때의 time)을 마이컴과 E<sup>2</sup>PROM에 각각 기억시켜 놓는다. 초기값을 구함으로써 벨트장력을 추정하여 만든 가상의 추세선을 무게를 판단하는 데 사용한다. 초기값을 구하는 방법은 다음과 같다. 그림 6에서 벨트장력 300gf일 때 세탁조와 의류의 간섭이 심한 7kg이상의 값을 제외한 곡선과 추세선은 그림 7과 같다.

그리고 테스트 모드를 설정하여, 세탁조 안이 비어있는 무부하 상태에서 테스트 버튼이 눌러지면 마이컴은 0.3on/0.7off 3회 우회전으로 전동기를 구동시키고 관성중에 3~4번째 상승에지사이의 시간간격의 평균을 구하여 E<sup>2</sup>PROM에 저장한다. 이 값을 초기값(무게가 0kg일 때의 time)이라 칭한다. 이 동작은 세탁기 생산직후와 그 이후에 벨트장력 변화되었을 때만 사용한다. 이렇게 구해진 초기값이 22.1msec일 때 이 시간이 E<sup>2</sup>PROM에 저장되고, 마이컴은 부하를 감지할 때 E<sup>2</sup>PROM에 있는 값을 초기값으로 하는 다음과 같은 식을 사용하게 된다. 그림 7에서 x축(무게)을 y축(time)의 함수로 전개한 방정식이다. 그림 7안에 있는 식

$$\text{무게} = 2.52 (\sqrt{1 - 2.29(21.23 - \text{time})} - 1) \quad (1)$$

에서 무게를 W로, 21.23을 T<sub>noload</sub>로, time을 T<sub>load</sub>로 표시한다.

$$W = 2.52 (\sqrt{1 - 2.29(T_{\text{noload}} - T_{\text{load}})} - 1) \quad (2)$$

여기서 W=의류의 무게(kg), T<sub>noload</sub>=무부하시 time값(msec), T<sub>load</sub>=부하에 의한 time값(msec)

22.1msec의 초기값에 의해 구해진 추세선은 그림 8의 점선과 같다. 여기에서 실제로 사용자가 세탁기에 의류를 넣고 세탁기를 동작시킬 때 마이컴이 위와 같은 부하감지 동작을 수행한 후에 24.8m초의 time을 구했다면 마이컴이 판단하는 무게는 다음과 같다.

$$W = 2.52 (\sqrt{1 - 2.29(22.1 - 24.8)} - 1) = 4.23 \text{ kg} \quad (3)$$

만일 벨트장력을 고려하지 않고 그림 7과 같은 추세선의 방정식을 그대로 사용한다면 마이컴은 무게를 다음과 같이 오판할 수 있다. 초기값은 21.23msec이므로 무게는 다음과 같다.

$$W = 2.52 (\sqrt{1 - 2.29(21.23 - 24.8)} - 1) = 5.11 \text{ kg} \quad (4)$$

이 테스트 버튼이 다시 입력되어서 EPROM에 저장된 초기값이 바뀌지 않는 한 의류의 무게를 판단할 때 그림 8의 점선(초기값 22.1msec)을 사용한다. 여기서 말하는 부하감지 동작이란 0.3초on/0.7초off, 3회 우회전으로 전동기를 구동시키고 관성중에 3~4번째 상승에 지사이의 시간간격의 평균을 구하는 일련의 과정이다.

지금까지 제안한 알고리즘으로 세탁할 의류의 무게를 판단하게 되면 세탁기의 벨트가 어떠한 장력으로 조립 혹은 변화되어 있더라도 그 장력에 맞는 가상 추세선이 사용됨으로써 무게를 정확하게 판단할 수 있다.

무게에 따른 time의 추세선

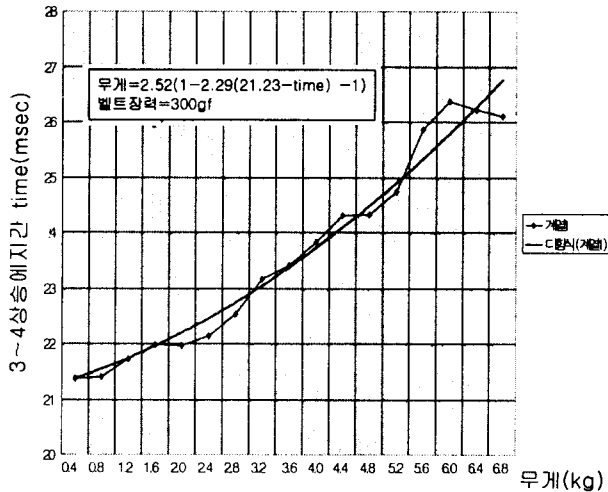


그림 7 벨트장력이 300gf일 때의 추세선(실선)과 방정식  
Fig 7 Trend curve(bold line) and equation at 300gf belt tension

벨트장력에 의한 영향

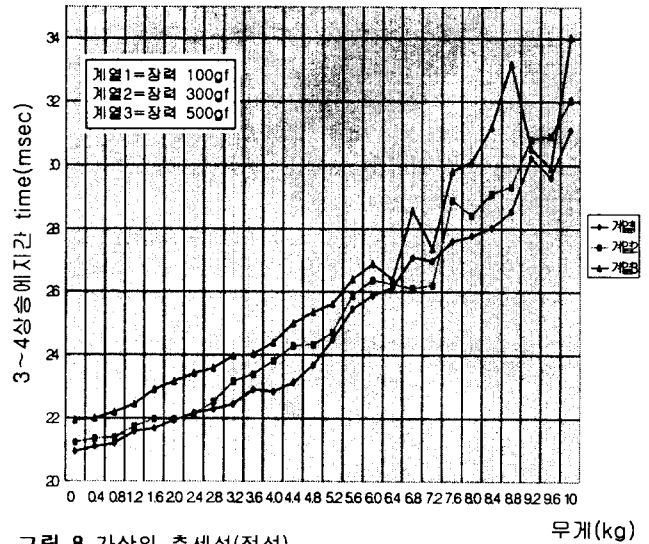


그림 8 가상의 추세선(점선)

Fig. 8 Imaginary trend curve(dotted line)

5.1 장력을 보상하는 부하 판단 알고리즘의 응용

세탁기에서 벨트장력의 변동으로 무게를 오판하게 되면 수위를 오판하게 되는데, 수위가 세탁기의 성능중 세척도 및 포크임률에 가장 크게 영향을 끼친다. 벨트장력의 변동을 보상하는 알고리즘을 세탁기에 적용하여 벨트장력의 변동에 관계없이 적절한 수위로 세탁을 행한 결과 세척도와 포크임률이 표 1과 같이 향상되었다.

표 1 장력의 변동을 보상하는 알고리즘을 적용, 개선된 세탁기 성능의 예

Table 1 An example of improvement in washing machine applying the algorithm compensating the change of tension

부하	항목	장력의 변동을 보상하지 않는 알고리즘	장력의 변동을 보상하는 알고리즘 적용	향상도
4 kg	세척도	36.7	42.1	14.7%
	표준편차	3.2	3.0	6.0%
7 kg	세척도	38.4	42.6	10.9%
	표준편차	4.7	3.9	22.0%
4 kg	포크임률	66.4	13.8	79.2%
7 kg	포크임률	48.6	9.9	79.6%

## 6. 결 론

동력을 전달하는 매체로 벨트를 사용하는 시스템에서 세탁기와 같이 벨트의 장력에 민감한 영향을 받는 경우가 종종 있다. 본 논문에서는 벨트를 동력의 전달 매체로 사용하는 시스템에 있어서 벨트의 장력이 동력 전달이외에 세탁기에서와 같이 부하를 판단하는 것과 같은 기능에 영향을 미치는 경우, 이러한 기능에 벨트의 장력변동에 의한 영향을 받지 않는 알고리즘을 제안하였다.

본 논문의 내용을 요약하면 다음과 같다. 벨트 장력의 변동을 시스템의 사용 초기나 변동이 추정되는 시점에서 체크하여 기억소자에 기억시키고, 시스템에서 이러한 장력의 변동을 소프트웨어적으로 보상하여 실제 사용할 때 장력의 변동이 없을 때와 같은 효과를 내도록 하는 것을 목적으로 한다.

여기서 제안한 장력 보상 알고리즘은 동력의 전달 매체로 벨트를 사용하는 시스템에서 벨트의 장력이 동력 전달이외에 다른 기능에 민감하게 작용하는 경우에 유용하게 적용될 수 있으리라 기대되며, 외부의 인위적인 장력의 보상이 없이 시스템 스스로 벨트의 장력을 판단, 보정해 주는 알고리즘에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] John D. Kueck, Donald A. Casada, Pedro J. Otaduy, "A Comparison of Two Energy Efficient Motors", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 13, No. 2, pp140-147, June 1998
- [2] 金知國, "콘덴서 單相 誘導 電動機製作에 의한 效率 改善方案에 관한 研究", 漢陽大學校, 1992
- [3] 張錫明, "A Study on the analysis of the performance characteristics and the optimal design of a linear induction motor", 漢陽大學校, 1985

## 저 자 소 개



김 승 환 (金 承 煥)

1966년 10월10일 생. 1989년 단국대 전자공학과 졸업. 1992년 한양대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1992~현재 대우전자주임연구원

Tel : (0343) 428-5527

E-mail : Cimsh@unitel.co.kr



임 무 생 (林 茂 生)

1944년 4월 5일 생. 1973년 한양대학교 기계공학과 졸업. 1999. 6 대우전자(주) 상무. 현재 테크라프(주) 대표이사

Tel : (02) 3476-1302~5