

유기발광 다이오드의 가속 수명 시험에 관한 연구

최영태* · 조재립*

*경희대학교

Life Estimation of Organic Light Emission Diode by Accelerated Test

Young-Tea Choi* · Jai-Rip Cho*

*KyungHee University

Abstract

Organic light emitting diode(OLED) has been developed fast from 1963 when electric light emitting phenomenon was discovered. PMOLED(passive matrix OLED) is produced earlier than AMOLED(active matrix OLED). PMOLED is mainly mounted at sub display, but AMOLED is mounted at main display. Nowadays AMOLED is expanded to PMP(portable multimedia players), navigation and TV market. Even though OLED's market is opening to many applications, OLED's life is worried until now. If we know about OLED's real life, we need time to test so much time over 20,000hrs. Realistically, there is difficult to test such as long time with products from the information-technology sector having a short life cycle.

In this paper, we study about OLED's accelerated test to reduce life test by current. We can design OLED's accelerated life model by the result of test. The model consists of design variables like ratio of light emitting, organic material structure, condition of aging, etc.

In conclusion, this model can be applied to study about organic material, machine and manufacturing process etc, and also it's possible to develop a method of manufacturing process & materials, so we need to study on the subject of this paper continuously.

Keywords : AMOLED, 유기발광 다이오드, 가속수명

1. 서론

유기물질의 전기적 발광현상은 1963년 안트라센 물질에서 처음 보고 되었다[1]. 유기발광 다이오드는 1982년 Eastman Kodak의 C.W.Tang의 연구진에 의해 빛을 내는 기능 이외의 전하를 운송하는 물질을 개발하여 다층구조의 발광 소자가 제작된 이후로 비약적인 발전을 해왔다. 1987년에는 정공 운송층(Hole Transfer layer)과 발광층(emission layer)의 2층형 소자(Alq₃, α-NPP)가 개발되어 디스플레이로서의 기능에 대한 가능성을 확인하였고[2], 10년 뒤인 1997년에 일본 동북

파이오니아에서 단색 OLED로 자동차용 디스플레이를 개발하여 상품화하였다. 2000년에 SNMD(現SMD)에서 Color PMOLED로 휴대폰 Sub 디스플레이로 상품화하고, 2007년에 SDI(現SMD)에서 AMOLED로 휴대폰 Maim 디스플레이 상품화를 하였다.

유기발광 다이오드는 수명에 대한 논란에도 불구하고 현재 시장에 출시되어 있는 다른 디스플레이에 비해서 색감, 반응속도, 소비전력, 두께 등 상품으로서의 가치가 높기 때문에 이미 시장에 출시된 제품에 대해서는 좋은 반응을 보이면서 점유율을 확대해 나가고 있다. 그리고, 논란이 되고 있는 수명을 향상시키기 위

† 교신저자: 조재립, 경기도 용인시 기흥구 서천동 1번지 경희대학교 테크노공학대학 430호

M · P: 010-5357-6698, E-mail: jrcho@khu.ac.kr

2010년 10월 2일 접수; 2010년 12월 7일 수정본 접수; 2010년 12월 9일 게재확정

하여 재료, 다층막 구조, 공정기술 및 설비기술 등에 관한 연구가 빠르게 진행되고 있다 [3].

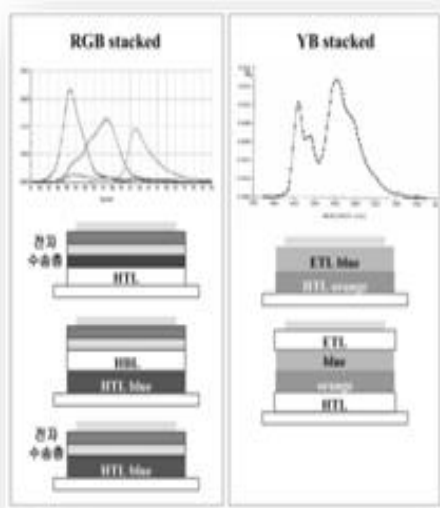
본 연구는 유기발광 다이오드의 수명 평가에 있어서 장시간 평가의 어려움과 고휘도 및 고해상도로 발전해 가는 시장 요구에 부응하기 위하여 가속 수명에 대한 모형을 제시하여 설계단계에서부터 가속 실험과 시뮬레이션을 통하여 상품화의 가치를 빠르게 판단하는 것을 목적으로 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 유기발광 다이오드의 구조

유기발광 다이오드는 적층형 유기발광 다이오드와 단층형 유기발광 다이오드로 구분할 수 있다. 지금 디스플레이로 개발되고 있는 구조는 두 가지 이상의 발광층을 적층하는 구조가 가장 일반적으로 사용되고 있다. 추출 효율이 높은 적색, 녹색, 청색의 세 가지 색깔로 발광층을 사용하는 적층구조가 디스플레이에 적합하다[4].

일반적인 유기발광 다이오드의 기본적인 구조는 적층형 다층 박막 구조로 양극(anode), 정공 주입층(hole injection layer, HIL), 정공수송층(hole transport layer, HTL), 발광층(emission layer, EML), 전자수송층(electron transport layer, ETL), 전자 주입층(electron injection layer, EIL), 음극(cathode)으로 구성되어 있다.



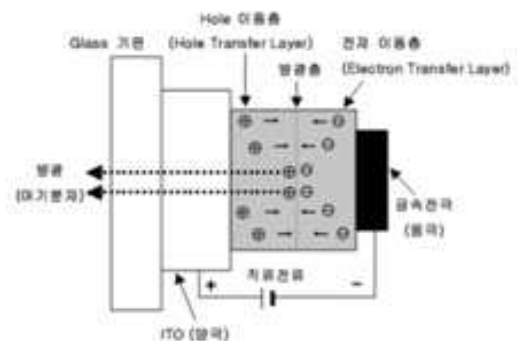
[그림 1] 적층형 유기발광 다이오드 소자구조

2.2 유기발광 다이오드의 특성

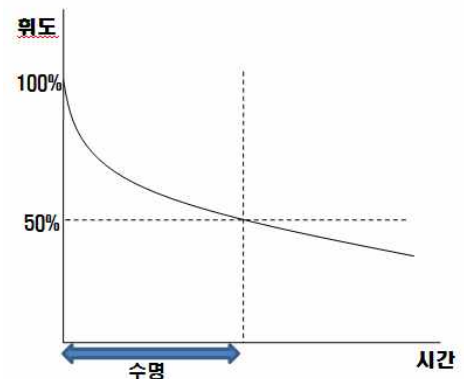
유기재료의 발광원리는 양극과 음극에서 주입된 전자(electron)와 정공(hole)의 재결합에 의해 발광이 일어난다. 전원이 공급되면 전자가 이동하면서 전류가 흐르게 되는데 음극에서는 전자(-)가 전자수송층의 도움으로 발광층으로 이동하고, 양극에서는 Hole(+개념, 전자가 빠져나간 상태)이 Hole수송층의 도움으로 발광층으로 이동한다. 유기물질인 발광층에서 만난 전자와 홀은 높은 에너지를 갖는 여기자(exiton)를 생성하게 되는데 여기자가 낮은 에너지로 떨어지면서 빛을 발생한다. 발광층을 구성하고 있는 유기물질이 어떤 것이냐에 따라 빛의 색깔이 달라지게 되며, R,G,B를 내는 각각의 유기물질을 이용하여 Full Color를 구현할 수 있다.

2.3 유기발광 다이오드의 수명

유기발광 다이오드의 수명은 일반 디스플레이의 수명처럼 white 상태에서 휘도(밝기)가 반감될 때까지의 시간을 말한다[5]. 그리고 시간에 따른 수명은 [그림 3]과 같이 곡선의 형태를 보인다.



[그림 2] 유기발광 다이오드의 발광원리



[그림 3] 디스플레이 수명

2.4 가속수명 모형

본 실험에서는 전기절연체, 베어링, 금속피로(metal fatigue) 등에 널리 사용되고 있는 가속수명-스트레스 모형으로 전기 절연체와 유전체, 볼과 롤러 베어링, 기계적 부하에 따른 단순 금속 피로, 백열전구 등에 적용가능하며 반도체를 비롯한 다양한 분야에 적용되고 있는 식(1)의 역역률제곱 모형(Inverse power model)을 사용하였다[6].

$$\tau = A \cdot V^{-\gamma} \quad (1)$$

(A, γ: ! 실패+뫂t 실패 = 뫂실패뫂 q뫂 실패뫂뫂) + 뫂실패뫂
V: 뫂뫂뫂뫂뫂뫂뫂뫂

3. 가속수명모형 설계 및 실험

3.1 수명에 영향을 미치는 요소

유기발광 다이오드는 독립 발광 소자이며 설계 조건에 따라 Pixel이 받는 전류의 크기는 다르다. 설계적인 요소는 다음과 같다.

① Aperture Ratio(개구율): 유효구경을 표시판의 면적으로 나눈 값으로 개구율이 클수록 화소들이 차지하고 있는 면적이 증가되므로 밝기가 증가한다. 개구율의 감소는 적절한 디스플레이 휘도를 위하여 픽셀 소자에 가해지는 전류 및 전압의 증가를 가져오기 때문에 소비전력의 증가 및 디스플레이 수명의 감소가 유발된다.

② Resolution(해상도): 설계하는 방법에 따라서 Pixel과 Pixel간의 공간의 차이, 즉 비발광 영역의 차이가 날 수 있다. 발광면적의 차이는 동일한 휘도로 발광한다고 할 때 해상도에 따라서 전류밀도 차이를 발생시킨다. Panel Size 및 휘도가 동일하다고 할 때 해상도에 따라서 발광하는 면적이 달라진다. 면적 차이는 전류밀도의 차이로 유기물이 받는 전류 기인성 스트레스가 달라져 수명의 차이로 나타난다.

③ Sub Pixel Pitch: Red, Green, Blue 유기물의 열화 속도의 차이로 개구율을 다르게 설계하는 것이 일반적이다. 각 color別 sub pixel pitch에 따른 전류밀도가 다르기 때문에 sub pixel pitch가 반영되어야 한다.

④ Active Area: 실제 구현되는 영역으로 Sub pixel pitch와 해상도의 곱으로 면적을 나타낸다.

⑤ Luminance(휘도): 목표 휘도에 따라서 전류밀도가 달라지기 때문에 기본적으로 반영되어야 하는 항목이다.

⑥ Polarizer Transmittance: 금속물질을 전극으로 사용하기 때문에 외부광원에 노출될 경우 거울과 같이 외부광원을 반사시킨다. 외부 광원에 대한 반사와 contrast ratio 저하를 보상해 주기 위해 편광 필름을 사용한다. 일반적으로 투과율이 50%를 넘지 않는다.

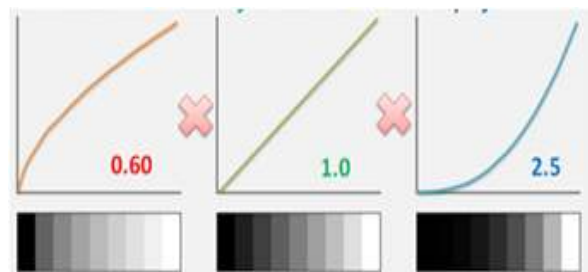
⑦ Color: 단색이 가지는 색좌표와 White를 구성하는 색좌표에 따라서 White 휘도를 만들기 위한 Red, Green, Blue의 휘도비가 달라지게 된다. 휘도비에 따라서 열화하는 속도가 달라진다.

⑧ EML 두께: EML의 두께가 증가하면 전류밀도는 감소하고, Host 물질의 이동도가 증가될수록 전류밀도가 증가한다. 전체 두께 중 발광에 참여하는 두께가 증가되면 효율이 증가한다. 공통층 두께를 고정하고 EML두께를 늘릴 경우, 전체 두께가 늘어나면서 동일 전압에서 전류밀도와 휘도가 감소한다[7].

사용자 환경에 의한 요소는 Gray scale & Gamma가 있다. User가 사용하는 Gray Scale & Gamma에 따라서 전류밀도 차이가 발생한다. [그림 4]는 흑백의 명암(255단계의 음영)으로 이미지를 표현하는 방식인 gray scale을 나타내고, [그림 5]는 입력값에 대한 출력값의 지수함수적 관계인 gamma에 따른 gray scale을 나타낸다.



[그림 4] Gray scale



[그림 5] Gamma에 따른 Gray scale

3.2 가속을 위한 전류밀도 산출

가속수명 모형을 설계하기 위해서 design factor, user environment factor, Organic Material factor에 대해서 전류밀도를 산출하였다. Design factor의 input parameter와 value는 <표 1>과 같다.

전류밀도를 구하기 위해서는 Color별 휘도비, Color별 휘도, 발광면적을 고려한 휘도, 발광에 참여하는 실제 면적, 발광에 소모되는 전류, 재료 효율이 산출되어야 한다.

전류밀도를 구하기 위해서는 color별 휘도비, color별 휘도, 발광면적을 고려한 휘도, 발광에 참여하는 실제 면적, 발광에 소모되는 전류, 재료 효율이 산출되어야 한다.

단색 색좌표는 재료의 고유특성에 공정 조건에 의한 막두께에 의해 정해진다. 이는 red, green, blue 고유의 color, 즉 색좌표가 되고 단색의 고유 색좌표로 white 색좌표를 맞추기 위해서 각 color별로 휘도비를 조정해 주어야 한다. color별 휘도비가 산출되었으면 target white color 휘도에 맞는 color별 휘도를 계산할 수 있다.

지금까지는 사용자가 인식하는 휘도를 계산하였다.

디스플레이의 패널의 발광은 전체 면적 중에서 픽셀 면적만 해당된다. 전체 면적 중에서 실제로 발광에 참여하는 면적을 구하면 실제 발광하는 휘도를 구할 수 있다. 이는 단위 면적당 휘도와 효율(휘도/전류)을 계산할 수 있다. 결과는 <표 2>와 같다.

<표 2>에 의한 White color 휘도별 전류밀도는 <표 3>과 같다.

3.3 실험방법

측정방법은 “KS C IEC 61988-2-1” 표준을 따랐고, 장비는 검교정 유효기간 내에 있음을 확인하였고 [그림 6]과 같다.

3.4 수명 모형 및 검증

실험은 시료수는 6개, 240시간 동안 진행하여 데이터를 확보하였고, 데이터의 전류값을 고정하고 일정한 주기로 시간을 x, 휘도를 y로 하여 휘도를 측정하면 곡선 형태로 휘도가 감소하게 된다. 이 곡선을 시간을 n승으로 fitting하면 [그림 7]과 같이 직선 모형으로 유도할 수 있다.

Fitting한 결과, [그림 8]과 <표 4>같이 White color는 아래와 같고, R²는 전체 변동 중 회귀 변동에 대

한 값으로 회귀식에 대해 설명되는 변동의 값이다. 동일한 방법으로 Red, Green, Blue color에 대한 fitting을 할 수 있다.

<표 1> A모델 설계적 요소

Input parameter		Value
Resolution	H	320
	V	480
Sub Pixel Pitch	H [μm]	47.0
	V [μm]	141.0
Aperture ratio	R [%]	35
	G [%]	35.2
	B [%]	490
Active Area*	[cm^2]	30.3
Polarizer transmittance	[%]	44
Luminance	[cd/m^2]	300
Color	X	0.297
	y	0.323

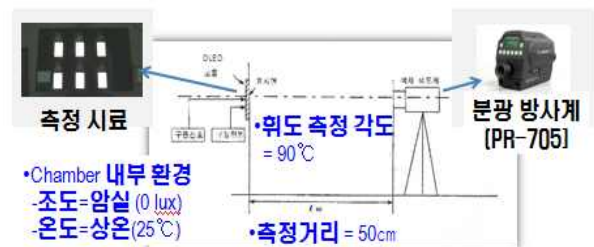
<표 2> Color별 휘도비, 휘도, 발광면적, 전류 및 효율

color	White	Red	Green	Blue	단위
휘도비	1.00	0.28	0.65	0.07	-
인지휘도	300	84	195	21	cd/m^2
발광휘도	5706	1635	3779	292	cd/m^2
발광면적	12.13	3.56	3.58	4.99	cm^2
전류	452	97	182	172	mA
효율	132	152	187	22	cd/j

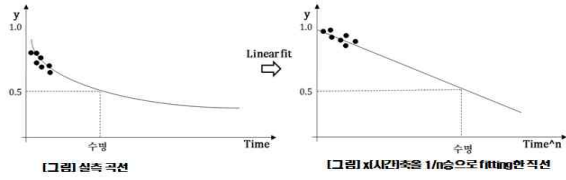
<표 3> White color 휘도별 전류밀도

White 휘도	전류밀도			
	White	Red	Green	Blue
300	372	272	512	347
400	452	332	617	417
500	562	412	772	522

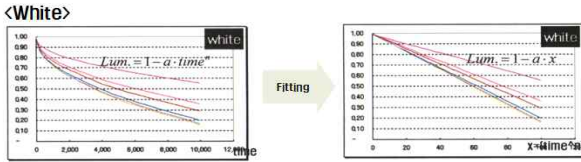
*단위: cd/m^2 , A/m^2



[그림 6] 휘도/색좌표 측정 거리 및 방법



[그림 7] x(시간)축을 fitting 한 전/후



[그림 8] White color fitting graph

<표 4> White color fitting 결과

시료	n	a	Fitting Formula	R ²
#1	0.47	0.00797	Lum = 1 - 0.00797x	0.95
#2	0.52	0.00634	Lum = 1 - 0.00634x	0.97
#3	0.47	0.00846	Lum = 1 - 0.00846x	0.99
#4	0.58	0.00435	Lum = 1 - 0.00435x	0.93
#5	0.50	0.00708	Lum = 1 - 0.00708x	0.98
#6	0.48	0.00832	Lum = 1 - 0.00832x	0.98

3.5 수명 모형 설계 및 검증

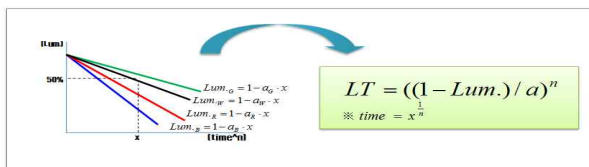
회도 수명은 회도 잔존률이 50%될 때까지의 시간이므로 [그림 9]과 같이 White/ Red/Green/Blue color에 대하여 각각의 수명을 그래프로 나타낼 수 있고, 회도 수명에 대하여 시료별로 예측수명을 산출한 후 White/ Red/Green/Blue color 각 color별로 MTTF를 구하면 <표 5>와 같다.

4. 가속수명 모형 및 검증

4.1 전류밀도별 실험결과

전류밀도에 의한 수명 실험 결과는 [그림 10]와 같이 전류밀도에 의해 가속됨을 알 수 있다.

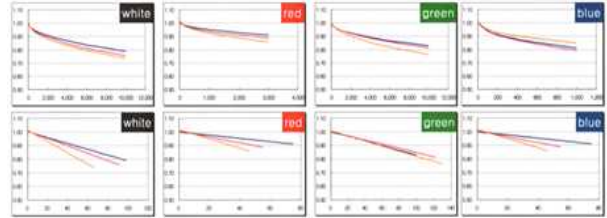
전류밀도별 수명(MTTF)은 <표 6>와 같다.



[그림 9] 회도와 수명 관계

<표 5> Color別 MTTF

항목	White	Red	Green	Blue
MTTF	55,368	72,180	84,621	7,032



[그림 10] 전류밀도별 수명 곡선

<표 6> 전류밀도별 수명(MTTF)

전류밀도	White	Red	Green	Blue
90	55,368	72,180	84,621	7,032
109	44,842	49,707	58,215	5,483
136	35,112	33,128	28,022	4,209

설계적 요소와 User가 사용하는 Gray Scale & Gamma에 따른 전류밀도에 의한 차이를 식(1)에 반영하면 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 J &= A \cdot V^\gamma \\
 &= \left(\frac{1 - Lum.}{a} \right)^n \cdot \left(\frac{J_{std}}{J_{target}} \right)^\gamma \\
 &= \left(\frac{1 - Lum.}{a} \right)^n \cdot \left(\frac{Lum_{white_std} \times Ratio_{lum_color_std} \times \left(\frac{255_{std}}{G_Scale} \right)^{gamma_{std}}}{Aperture_ratio_{color_std} \times Pol_trans_ratio} \times 3 \right)^\gamma \\
 &= \left(\frac{1 - Lum.}{a} \right)^n \cdot \left(\frac{Lum_{white_target} \times Ratio_{lum_color_target} \times \left(\frac{255_{target}}{G_Scale} \right)^{gamma_{target}}}{Aperture_ratio_{color_target} \times Pol_trans_ratio} \times 3 \right)^\gamma \quad (2)
 \end{aligned}$$

실험결과를 식(2)에 반영하면 γ 값은 <표 7>과 같다.

4.2 가속수명모형 및 검증

<표 1>과 <표 7>의 값을 식(2)에 대입한 이론값 χ^2 적합도 검증결과는 <표 8>과 같다.

자유도 2, 위험률 5% 일 때 $\chi^2(2, 0.05) = 5.99$ 이므로 통계량 χ^2 값이 $\chi^2(2, 0.05)$ 보다 훨씬 적으므로 적합하다고 할 수 있다.

<표 7> Color별 γ 값

Color	White	Red	Green	Blue
γ	1.08	1.87	1.93	1.24

<표 8> 전류밀도의 χ^2 검증결과

전류밀도	관찰값	이론값	χ^2
90	55,368	55,300	0.0836
109	44,842	44,500	2.6284
136	35,112	35,000	0.3584

<표 9> B모델 설계적 요소

Input parameter		Value
Resolution	H	480
	V	640
Sub Pixel Pitch	H [μm]	37
	V [μm]	84
Aperture ratio	R [%]	35.9
	G [%]	13.5
	B [%]	46.35
Active Area*	[cm^2]	28.64
Polarizer transmittance	[%]	44
Color	X	0.297
	y	0.323

4.3 수명 모형 적용

위의 모형을 사용하여 <표 9>와 같은 새로운 설계 조건이 제시되었을 때 수명 예측이 가능하다.

<표 9>의 조건으로 식(2)와 <표 7>의 값에 의한 수명예측 결과는 25,583시간이다.

5. 결론 및 과제

유기발광 다이오드는 비교적 사용시간이 짧고 교체 주기가 빠른 휴대폰, MP4등의 모바일 제품 중심으로 채용이 되고 있지만, 최근 업계에서는 모니터, TV 등 장시간 사용되는 제품으로 확대할 준비를 하고 있다.

이러한 제품은 모바일 제품에 비하여 보증시간이 늘어나게 되고 보증시간을 만족시키기 위한 수명 시험도 더 길어지게 된다. 이러한 추세에 경쟁력을 확보하기 위해서는 가속수명 시험이 필수이다.

유기발광 다이오드는 TFT-LCD의 다음 세대를 이을 차세대 디스플레이로 각광받고 있고 재료, 공법, 설비 등 관련 분야에 대해서 많은 연구가 진행되고 있기 때문에 본 연구에서 제시한 가속 수명 모형은 충분히 활용될 수 있다고 판단한다.

향후 시료수를 늘리고 평가 시간을 충분히 길게 하고, 공정조건을 변수에 추가한다면 본 연구의 모델을 보다 정교한 모델로 발전시킬 수 있을 것이다.

6. 참고 문헌

- [1] M Pope, HP. Kallmann, and P. Magnate(1963), J.Chem. Phys., 38, 2042.
- [2] C.W. Tang, S. A. Van Slyke(1987), "Organic electroluminescent diodes", Appl. Phys. Lett. Vol 51, No. 12, pp.913.
- [3] 박태용·이철희·하영호(2008), "모바일폰용 TFT-LCD 와 AMOLED의 색재현성 평가", 전자공학회 논문지 제45권 제1호, pp.29-37.
- [4] 이준엽, 김성현, 장정식(2007), "백색 OLED 기술현황", 한국공업학회, Volume 10, No.2.
- [5] 산업자원부 신뢰성전문위원회(2007), "4.5인치 이하 소형 유기 발광 다이오드(OLED)".
- [6] Chan, H. Anthony (EDT)/ Englert, Paul J. (EDT) (2004). AcceleratedStressTestingHandbook. WILEY.
- [7] 한정인-문대규(2001), "유기 EL 디스플레이 기술 (Organic EL Display Technology)", 방송공학회지 제6권 제 4호, pp.66-78.

저자 소개

최영태



경희대학교 대학원에서 산업공학 석사학위 및 박사학위를 취득하였다. 현재 삼성모바일디스플레이 품질보증팀에서 OLED 신뢰성 기술개발 및 보증 업무를 담당하고 있다. 주요 관심분야는 품질경영, 신뢰성경영, 환경경영 등이다.

주소: 충청남도 천안시 성성동 508번지 삼성모바일 디스플레이 품질보증팀

조재립



한양대학교 산업공학과를 졸업하고, 동 대학원에서 석사 및 박사학위를 취득하였다. 현재 경희대학교 산업공학과 교수로 재직 중이며, 주요 관심분야는 품질경영, 신뢰성경영, 환경경영, 서비스경영 등이다.

주소: 경기도 용인시 기흥구 서천동 1번지 경희대학교 테크노공학대학 430호