

발표된 논문을 통한 전자종이 디스플레이의 연구동향 분석

민태홍*, 장성근**, 김영조**

요약

산업분야의 연구자가 아닌 대학에서 주로 이루어지는 발표논문을 중심으로 전자종이의 연구동향을 분석하였다. 논문 분석을 위하여 구동방법, 컬러화상 표시방법, 전극구조 등으로 분류하였으며 검색은 Elsevier社의 Scopus의 데이터베이스를 이용하였다. 전자종이 관련 논문은 1999년 이후 급속하게 증가하였으며, 전기영동방식에 관련된 연구논문이 주로 발표되고 있으나 컬러화에 대한 연구도 지속적으로 이루어지고 있음을 확인하였다. 또한 컬러화에 대한 접근방식도 LCD 기반의 컬러필터방식은 거의 발표된 바 없으며 대부분은 컬러입자방식에 의한 컬러화 연구에 의해 이루어졌다. 이는 산업계 LCD 기반의 연구동향과는 반대되며 전자종이의 컬러화 방법을 제시한다.

A Research Trend Analysis of Electronic Paper Display Throughout Reported Paper Analysis

Tae-Hong Min*, Sung-Keun Chang**, Young-Cho Kim***

ABSTRACT

We analyze the trend of an e-paper according to the reported papers mainly by researching group of university not by industrial area. For the paper analysis we classify the driving method, a color image presentation method, and the electrode structure, and used Scopus database of Elsevier as a research tool. After 1999, the number of paperson e-paper are abruptly increased and the major area of paper is related to the electrophoretics, but the colorization research have been proceeded. We ascertain the researching method is mainly by the color particle not by the color filter based on LCD. This result is opposite to the trend of LCD on a general industry and regarded to a suggestion of colorization method of e-paper.

Key Words : e-paper, reported paper, colorization, color image, electrode structure

* 인하공업전문대학 컴퓨터정보과(✉ thmin@inhac.ac.kr)

** 청운대학교 전자공학과

· 제1저자(First Author) : 민태홍 · 교신저자(Correspondent Author) : 김영조

· 접수일(2011년 3월 2일), 수정일(1차 : 2011년 4월 1일), 게재확정일(2011년 4월 5일)

I. 서론

전자산업이 성장함에 따라 디스플레이산업도 더욱 발전하고 있다. 전자종이도 그중의 한 분야로써 미래의 디스플레이 한 부분으로 각광받고 있다. 전자종이의 장점으로는 현재 주를 이루고 있는 발광형 표시소자가 아닌 반사형 디스플레이로써 눈의 피로가 적고, 쌍안정성으로 인한 메모리효과로 낮은 소비전력을 가진다. 이러한 장점을 이용해 전자종이산업의 한 분야인 전자책(E-Book) 시장은 점점 성장되고 있는 추세이며 POP(point of purchase) 광고판, 대형 광고판, 휴대폰 등 여러 분야에 응용될 수 있다. 조금 더 폭넓은 응용분야로 건축설비, 의료기기, 우주산업 등에 적용될 수 있을 것이라 예상된다.[1-3]

그러나 데스크탑 및 노트북 컴퓨터의 급속한 보급에 따라 지난 십수년간 크게 산업적 입지를 갖춘 LCD 기술이 전체 FPD(Flat Panel Display) 기술을 지배함에 따라 전자종이 디스플레이 기술 및 적용분야를 결정하게 됨에 따라 전자종이의 기술개발의 방향도 LCD 기술에 의해 종속되어 되었다. 한 예를 들면, 전자종이의 컬러화에 대한 기술개발이 그것이다. 전자종이의 컬러화에 대한 기술은 백라이트를 사용하는 전형적인 type인 LCD 기술을 그대로 모방하여 적용하는 경향이 지배적이었는 바 이는 반사형이 전자종이 디스플레이에 적용하는 것은 무리가 있다. 예를 들어 투과도가 80%내외인 컬러필터를 사용하는 경우 이미 LCD에 비해 광원이 훨씬 약한 전자종이에서는 이미지가 대단히 어두워지게 되며 컬러왜곡이 발생하는 문제점이 있다.[4-5]

따라서 본 논문에서는 이러한 LCD 기반의 기술개발을 염두에 둔 산업분야의 연구자와 달리 보다 객관적인 위치에서 연구개발에 참여하는 그룹, 즉 학계를 중심으로 이루어지는 발표된 논문을 분석하여 실제 전자종이 디스플레이의 연구동향을 분석하고 LCD 기반의 기술개발동향과의 차이점을 다루고자 한다.

II. 분석방법

2.1 기술분류

전자종이 디스플레이의 논문분석 범위는 소자구동과 제조기술에 직접적으로 관련된 기술이며 일반적인 구분방법인 구동방법, 컬러화상표시 방법, 전극구조를 중분류로 하였으며, 이 중분류를 다시 소분류하였다. 각 기술의 정의와 함께 표. 1에 보였다. 논문동향은 특허건수에 비하여 발표논문의 건수가 많지 않고 발표된 논문에 대한 이론적 배경과 기술에 대한 정의가 명확하여 중분류부터 세분화하여 분석하였다. 본 대상기술의 경우 기술과 직접 관련된 컬러화에 관한 기술은 단순히 컬러필터의 적용유무 및 전극구조에 대한 분류로 나누었다.

2.2 분석범위

논문검색은 표. 1에서 보인 바와 같이 소분류된 기술을 논문 및 특허검색 DB인 Elsevier社의 Scopus를 이용하여 검색하였다.[6]

전자종이의 구동기술 중 전기영동방식의 전기영동 현상은 1970년 전후로부터 발표되었으므로 논문검색 기간을 1970년 이후부터 2010년 9월 1일까지로 정하였다. 논문검색범위는 Title, Abstract and Results로 설정하였으며, 전자종이 기술특성상 구동방법에 따라 응용되는 범위가 넓기 때문에 검색범위를 Life Sciences, Social Sciences & Humanities, Health Sciences, Physical Sciences로 설정하여 검색하였다. 검색식은 지면관계상 여기에서 소개하지 않았다.

표 1. 세부기술 분야별 핵심이슈기술
Table 1. Detailed technical issues Industry core technology

분류		기술명 (소분류)	기술의 정의	총 논문수	국내 전자 논문 수
전 자	구 동	전기영동 방식	유동성 매체 내에서 하전된 물질들이 전기장의 영향을 받아	300	51

종 이	방 법		이동하는 전기영동현상을 이용하는 기술		
		토너형 방식	전하를 띠는 입자가 공기 중에서 두 전극사이에 인가되는 전계에 의해 운동하는 현상을 이용하는 기술	52	5
		전기습윤 방식	전압에 의해 물질의 표면이 소수성 혹은 친수성을 갖도록 조절하여 구동하는 기술	20	0
		트위스트 불방식	하나의 구에 백색과 흑색 영역이 다른 전하를 가지게 하여 외부전계에 따라 회전하여 구동하는 기술	9	0
		cholesteric LCD방식	인가된 전기장에 따른 액정 분자의 배열 변화에 의해 빛을 선택적으로 반사시켜 구동하는 기술	61	3
		MEMS방식	반도체 공정을 이용한 MEMS기반의 반사미러를 이용하는 기술	65	2
	컬러 화상	컬러입자 방식	컬러화상표시를 위해 컬러입자를 사용하여 구동하는 기술	95	10
		컬러필터 방식	컬러화상표시를 위해 컬러필터를 사용하여 구동하는 기술	18	5
	전극 구조	다층전극 방식	상부 및 하부기판에 다층전극을 형성하여 컬러 전자종이를 구현하는 기술	77	3

III. 연도별 논문발표 추이 분석

3.1 개요

연도별 전체 논문발표 건수를 보면(그림 1. 참조) 1972년 1건의 논문발표 이후 1999년까지 산발적으로 논문발표가 이루어져 발표논문이 전체논문의 8.5%를 차지하는 59건으로 조사되었으며, 논문발표건수가 급격히 증가하기 시작한 2000년부터 2010년(' 10년 9월 1일 기준)까지의 최근 10년간 발표논문이 전체논문의 91.5%를 차지하는 697건으로 조사되었다.

3.2 논문발표 동향 분석

논문발표건수가 증가하기 시작한 1999년 이후 2005년부터 거의 2배에 달하는 논문발표가 이루어졌는데 이는 1999년 이후부터 구동방법에 대한 기술이 제시

된 이후에 2005년에 이르기까지 기술적인 성장속도와 학술적인 관심도가 급격히 높아짐에 따라 나타난 현상으로 보이며, 따라서 본 연구에서는 두 개의 구간으로 구분하여 분석하였다.

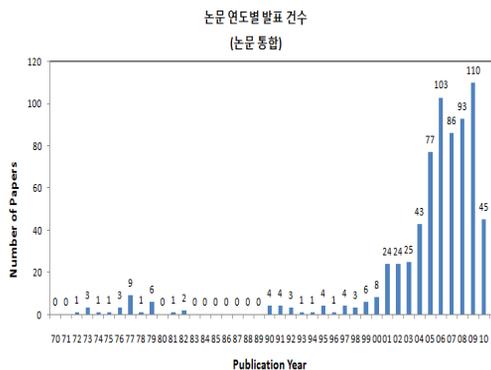


그림 1. 연도별 논문발표 동향
Fig. 1 Presentation of papers by year trend

3.3 기술분류별/연도별 논문발표 분석

전체 논문발표를 분석한 결과, 구동방법은 전체 논문의 73%(507건), 컬러화상표시는 16%(113건), 전극구조는 11%(77건)의 비율로 발표되었다(그림 2. 참조). 컬러화상표시와 전극구조의 경우 제시된 구동방법의 기술들을 기반으로 하여 적용되는 기술이며, 적용할 수 있는 구동기술이 한정적인 상태임을 감안하면 컬러화상표시 및 전극구조에 대한 기술에 학술적 가치와 적용가능성이 높아 보이는 것으로 판단된다.

참고로 전자종이의 구동방법에 대한 연구동향을 살펴보면 오랜 연구기간을 가진 전기영동방식이 각 연도별로 논문발표수가 가장 많았으며 전체발표 논문의 59%(300건)를 차지하는 것으로 나타났다. 전기영동방식 이외에는 MEMS방식 13%(65건), bi-stable or cholesteric LCD방식 12%(61건), 토너형 방식 10%(52건)를 나타냈으며, 그밖에 구동방법으로 전기습윤방식 4%(20건), 트위스트불방식 2%(9건)로 논문발표율이 가장 낮은 것으로 나타났다. 논문발표 분석으로 볼

때 지속적으로 여전히 논문이 쓰여지고 있으며 현재 까지 꾸준한 연구가 진행되는 것을 알 수가 있었다. 이는 기업이 중심이 되는 연구에서는 컬러필터방식이 양산에 유리하고 안정된 기술이기 때문에 큰 관심이 없는 것으로 보이지만, 논문을 작성하는 저자가 주로 학술적으로 컬러필터방식보다는 컬러입자 방식이 훨씬 유리하다고 판단하고 있음을 알 수 있다.[7-9]

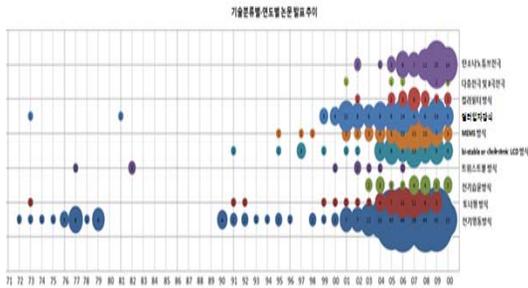


그림 2. 기술분류별/연도별 논문발표 동향(국가: 전체)
Fig. 2 Technology Categories/Presentation of papers by year trend

3.4 한국의 논문발표 동향

기술분류별/연도별 발표된 국내저자의 논문은 모두 79건이며 이는 분석대상 논문의 11.3% 수준이다. 한국의 연도별 동향을 보면 '01년 이전까지 발표된 논문이 없었으며, 전자종이관련 논문이 증가하기 시작한 '99년 이후보다 2년 뒤인 '01년을 기점으로 논문발표가 시작되었으며, '03년을 기점으로 논문발표율이 증가하기 시작하였다. 이는 한국이 관련기술에 대한 선행연구가 거의 없었던 것으로 보이며, 전자종이가 이슈화된 이후 먼저 제기된 기술들에 대한 검증과 가능성을 확인한 후 시작함에 따라 나타난 것으로 보인다(그림 3. 참조). 한국의 기술별 동향을 보면 구동방식중 전기영동기술을 기반으로 하는 논문발표가 '03년을 기점으로 발표된 이후 총 51건으로 한국전체 논문의 64.5%를 차지하여 학술적 관심도가 가장 높은 것으로 판단되며, '05년을 기점으로 하여 토너형 방

식(6.3%), bi-stable or cholesteric LCD방식(3.8%), MEMS방식(2.5%)이 발표가 되었으나 트위스트볼방식과 전기습윤방식의 논문발표가 없었던 것으로 볼 때 관련기술에 대한 실질적인 연구가 없었거나 상대적으로 관심이 적어 활발한 연구가 진행되지 않는 것으로 판단된다. 전체적으로 구동기술관련 논문이 발표되기 시작한 '05년 이후 2년 뒤인 '07년부터 탄소나노튜브전극 및 컬러필터방식에 대한 논문발표가 이루어지기 시작한 것은 구동방법에 대한 기술의 완성도가 높아짐에 따라 소자의 컬러화와 플렉서블의 중요성이 대두되기 시작하면서 나타난 것으로 판단된다.

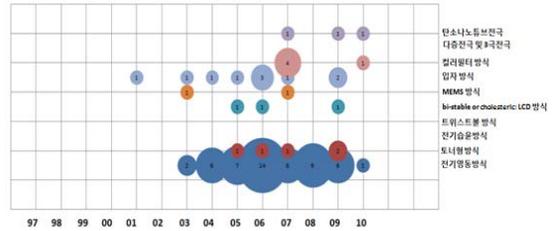


그림 3. 기술분류별-연도별 논문 발표 추이(국가: 한국)
Fig. 2 Technology Categories/Presentation of papers by year transition

IV. 국가별 연구동향 분석

4.1 개요

앞 절에서는 논문분석 기준연도를 1970년 1월로 하였으나 실질적인 전자종이에 관한 연구는 2000년 이후임을 고려하여 1999년 1월부터 2010년('10년 9월 1일 기준)까지를 기간으로 하여 전자종이 디스플레이의 논문분석을 실시하였으며, 논문발표 건수에 대한 분석결과 상위 6개 국가가 발표한 논문 건수는 411건으로 전체 발표논문(644건)의 63.8%의 절대적 비중을 차지하고 있다. 국가별로는 일본이 22.5%(145건)로 가장 많은 논문을 발표하여 연구 활동이 가장 활발한 것

으로 나타났으며, 그 다음으로 한국 12.3%(79건), 대만 8.4%(54건), 영국 8.2%(53건), 미국 8.1%(52건), 네덜란드 5.9%(38건)순으로 나타났다. 동 분야에서 한국은 전체 2위에 해당하는 논문을 발표함에 따라 관련 기술에 대한 높은 관심과 활발한 연구가 진행되고 있는 것으로 판단된다. 또한 전자종이 관련 연구는 2005년 이후 급증하였으므로 2005년을 중심으로 2개의 구간으로 나누어 분석하였다.

4.2 구간별 논문발표 동향

1999년~2010년 기간 동안 구간별(I 구간: '99~' 04년, II구간: '05~' 10년) 발표논문의 증감을 분석한 결과 최근 6년간 발표논문은 이전 6년에 비해 약 4.3배 증가하였으며, 상위 6개 국가의 경우 논문발표가 4.9배로 증가하고 상위 6개 국가를 제외한 국가들은 약 3.5배로 증가한 것으로 나타났다(표. 2 참조). 분석 기간이 1999년 1월부터 2010년 9월 1일인 것을 감안하면 논문발표의 증가율은 더욱 커지며, 전체논문발표 건수와 증감을 보면 상위 6개 국가가 활발한 연구를 진행하고 있는 것으로 보인다.

특히, 대만은 I 구간 1건의 발표논문에 비해 II구간에는 53건의 논문을 발표하여 무려 53배의 증가를 나타내어 기술적 관심도와 연구 활동이 급격히 높아진 것으로 보이며, 실제로 논문발표 이외에도 대만의 PVI사가 '05년부터 Philips사와 제휴하여 전자종이 사업을 진행한 이후 전기영동분야에서 두각을 나타낸 E-Ink사를 인수하는 등 국가 및 기업자체적으로 공격적이고 집중적으로 연구가 진행되는 것으로 알려져 있다. 대만을 제외한 국가로는 한국이 최근 6년간 I 구간 12건의 발표논문에 비해 II구간에는 67건의 논문을 발표하여 5.6배의 증가를 나타내어 국가적으로 관심이 높아진 것으로 판단되며, 미국 3.7배, 일본 3.4배, 영국 3.1배, 네덜란드가 2.8배로 증가하였다. 특히, 일본의 경우 증가율로는 상위 6개 국가 중 4위에 해당하지만 I 구간 33건의 발표논문에 비해 II구간에는

112건으로 가장 많은 논문을 발표하였으며, I 구간의 논문발표건수가 많아 논문증가율이 상대적으로 낮아진 것이나, 상위 6개 국가 중 가장 꾸준히 연구가 진행되고 있다.[10]

표. 2 국가별/구간별 논문발표 증감분석
Table 2. Regional / sectional analysis, presentation of papers decrease

국적	I 구간 (99~04)	II구간 (05~10)	증감 (II - I)	전체(99~10)
일본	33	112	▲79	145
한국	12	67	▲55	79
대만	1	53	▲52	54
영국	13	40	▲27	53
미국	11	41	▲30	52
네덜란드	10	28	▲18	38
기타국가	50	173	▲123	223
Top 6 국가	70	341	▲271	411
합계	130	514	▲384	644

4.3 기술분류별 논문발표 동향

기술분류별 상위 6개 국가의 논문발표건수에 따른 연구동향을 분석한 결과, 구동방법의 경우 전기영동 방식, 컬러구현의 경우 컬러입자방식, 전극구조의 경우 탄소나노튜브전극분야에 연구가 집중된 것으로 나타났다(그림 4. 참조). 일본의 경우 10가지 기술전체에 대한 논문발표가 이루어져 모든 분야에 걸쳐 연구가 진행되는 것으로 판단되며, 한국은 일본에 이어 다음으로 7가지 기술에 대한 논문발표가 이루어진 것을 확인하였다. 구동방법에 있어서 가장 많은 기간 동안에 연구가 진행된 전기영동방식의 경우 전체적으로 논문발표건수가 가장 높았으며, 현재 E-Book 단말기가 출시되는 등 다양한 콘텐츠와 접목이 시도되고 있다. 전기영동방식과 토너방식을 기반으로 하는 컬러 입자방식의 논문발표건수가 높은 것은 현재의 단순 흑백구동에서 벗어나 컬러필터 없이 컬러구현을 하는 것은 제조비용 절감과 더불어 다양한 콘텐츠와 접목

그리고 시장진출에 있어서 반드시 극복해야 할 기술 임에 따라 나타난 현상으로 판단된다. 또한 특허분석과는 다른 동향을 보이고 있음은 앞절에서 설명한 바와 같다. 전극구조에서 탄소나노튜브전극의 논문발표 건수가 높은 것은 기존의 투명전극의 경우 물리적 및 기계적 내구성이 취약하여 플렉서블 기판에 사용할 수 없는 반면에 탄소나노튜브전극의 경우 기계적 내구성과 투과율이 뛰어나 탄소나노튜브를 대체전극으로 이용하려는 연구가 활발히 진행됨에 따라 나타난 현상으로 보인다.

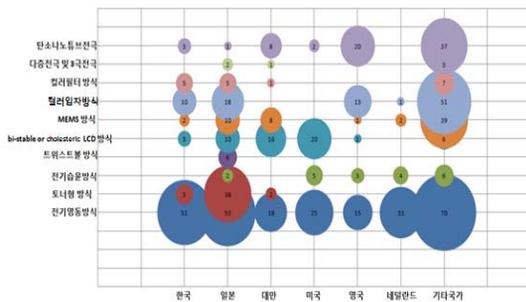


그림 4. 국가별 논문발표 동향
Fig. 4 Regional Trends Paper Presentation

V. 결론

LCD 기반의 기술개발을 염두에 둔 산업분야의 연구자와 달리 좀더 객관적인 위치에서 연구개발에 참여하는 그룹으로 판단되는 학계를 중심으로 이루어지는 발표논문을 분석하여 보다 독립적인 전자종이 디스플레이의 연구동향을 조사하였다.

논문분석을 위하여 구동방법, 컬러화상 표시방법, 전극구조 등을 중분류로 하였으며 검색은 Elsevier社의 Scopus를 이용하였다. 논문발표는 1999년 이후 급속하게 증가하였는데 2005년까지 이르렀다. 이후 2010년 중반에 이르러서도 그 감소세는 전혀 줄어들지 않

고 있다. 우리나라는 2001년 이전에 전자종이 관련 논문은 한 편도 발표되지 않다가 2003년 이후 급격하게 발표가 이루어져 전세계 논문의 12.3%를 차지하게 된다. 또한 주로 구동관련논문에 편중하고 있음은 기반 기술이 구동분야임을 증명하고 있다. 또한 전자종이 관련 연구는 일본, 한국, 대만, 영국, 미국, 네덜란드 등 상위 6개국이 전체 논문의 64%를 차지하여 연구가 일부국가에 편중되고 있음을 알 수 있었다.

분야별 연구동향을 살펴보면 가장 산업적으로 유리한 전기영동방식에 관련된 연구논문이 주로 발표되고 있으나 컬러화에 대한 연구도 지속적으로 이루어지고 있음을 확인하였다. 또한 컬러화에 대한 접근방식도 컬러필터방식은 거의 발표된 바 없으며 대부분은 컬러입자방식에 의한 컬러화 연구가 주를 이루었다. 이는 LCD 기반의 컬러필터 적용에 의한 전자종이의 컬러화와 반대되는 개념으로 일반적인 산업에서 컬러화 접근방법을 제시하고 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] The Korea Information Display Society “전자종이의 기술 개발동향”, 2009년 제10권 제 1호, pp. 31-44.
- [2] T.Kitamura, "Electronic Paper Based on particle Movement Electrophoretic and Toner Display", IDW 06, pp. 587, 2006.
- [4] R.Hattori, S.Yamada, Y.Masuda, N.Nihei, and R.Sakurai, "ultra thin and flexible paper-like display using QR-LPD technology", SID Digest O4, pp. 136, 2004.
- [5] Barrett Comiskey, J. D. Albert, Hidekazu Yoshizawa & Joseph Jacobson, "an electrophoretic ink for all-printed reflective electronic displays", nature 394, 1998, pp. 253-255.
- [6] Scopus website(<http://www.scopus.com>).
- [7] B. J. Feenstra, R. A. Hayes, R. Van Dijk, R. G. H. Boom, M. M. H. Wagemans, I. G. J. Camps, A. Gi-raldo, and B. V. D. Heijden "Electrowetting-based displays: Bringing microfluidics alive on-screen", MEMS 2006, Istanbul,

- Turkey, 22-26, p. 48 2006.
- [8] Y. Masuda, R. Sakurai, N. Nihei, and R. Hattori, "Novel type of Multi-Stable Reflective Display using Electric Powder", IDW/AD 05, p. 821, 2005.
- [9] S. H. Kwon, S. G. Lee, W. K. Cho, B. G. Ryu, and M. B. Song, "Reflective Paper-like Display using Opposite-charged Two Particles", IMID DIGEST 05, p. 423, 2005.
- [10] R. Sakurai, M. Asakawa, T. Nakashima, I. Tanuma, A. Yokoo, and Y. Masuda, "Ultra- thin and Flexible LSI Driver Mounted Electronic Paper Display using Quick- response Liquid-powder Technology", SID DIGEST 07, p. 1462, 2007.

감사의 글

본 연구는 2010년 소재원천기술개발사업(과제번호 M20070100131)지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

저자소개



민태홍(Tae-Hong Min)

1981년 중앙대학교 전자계산학과

1983년 중앙대학교 전자계산학과

(이학석사)

1992년 중앙대학교 전자계산학과

(공학박사)

1984년~ 현재 인하공업전문대학 컴퓨터정보과 교수

※ 관심분야: 분산실시간 시스템, 모바일 프로그래밍

장성근(Sung-Keun Chang)

1984년 경북대학교 전자공학과

(공학사)

1993년 포항공과대학교 전자전기공학과

(공학석사)

1996년 포항공과대학교 전자전기공학과

(공학박사)

1996년 ~ 2000년 현대전자 메모리연구소 책임연구원

2000년~ 현재 청운대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야: 반도체소자, 디스플레이(구동회로설계)



김영조(Young-Cho Kim)

1989년 서울시립대학교 전자공학과

(공학사)

1991년 서울시립대학교 전자공학과

(공학석사)

1994년 서울시립대학교 전자공학과

(공학박사)

1995년~현재 청운대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야: 디스플레이공학, 반도체 소자 및 재료

