

다양한 형태의 조명(형광등) 전력제어 실증시험을 통한 비용효과적인 전력수요관리방법 도출

(A Study on the Cost Effective DSM Method for Lighting Power Control through Pilot Test
Based on Pre-Verified Methodologies)

양승권* · 김대영**

(Seung-Kwon Yang · Dae-Young Kim)

Abstract

The portion of lighting power consumption for our country is up to 20~30% of the total amount. Currently, most of the DSM(Demand side management) of lighting power is delivered in supply of high efficient lighting to customers. On the contrary, applications of lighting power to power load leveling are still rare. In this paper, the simulations for various control types of lighting power for load leveling are tried, and we obtained the cost effective and optimal control method through that. This simulation was executed in test office with fluorescent light by us based on applying 8 control types(on, off & dimming), considering customers' satisfaction, for instance, minimum intensity of illumination allowed. According to the result of this test, we found that mixed type(chessboard(on-off) plus dimming control(10%)) is most effective.

Key Words : Lighting, DSM, Control, Simulation

1. 서 론

조명전력은 국가 전체 전기소비량의 20% 이상을 차

-
- * 주저자 : 전력연구원 스마트에너지연구소 책임
 - ** 교신저자 : 충남대학교 정보통신공학과 교수
 - * Main author : Principal Researcher KEPRI Smart Energy Laboratory
 - ** Corresponding author : Professor CNU department of Information & Communication Engineering
- Tel : 042-865-5391, Fax : 042-865-5944
E-mail : yangsek@kepco.co.kr
접수일자 : 2012년 10월 31일
1차심사 : 2012년 11월 2일
심사완료 : 2012년 12월 10일

지하며, 통상적인 국가전력피크시간대에 조명제어를 통한 조명전력부하 저감률은 29.7%로 알려지고 있다 [1]. 따라서 조명전력은 높은 전기소비 점유율과 피크 저감률을 감안할 때 전력수요관리(Demand Side Management) 자원으로 매우 유용하게 활용될 수 있다. 그런데 조명전력이 전력수급의 안정 및 부하평준화의 측면에서 활용성을 제고하기 위해서는 투자비가 적게 들고 고객의 불편을 최소화할 수 있는 제어방법 개발, 적용이 필요하다. 투자비를 최소화한다는 것은 수용가 조명전력소비를 효과적으로 저감하는 조명제어설비의 제작 및 설치비용을 줄여서 고객부담을 최소화한다는 의미다. 왜냐하면 수요관리는 고객의 참

여없이 불가능한 국가사업이기 때문이다.

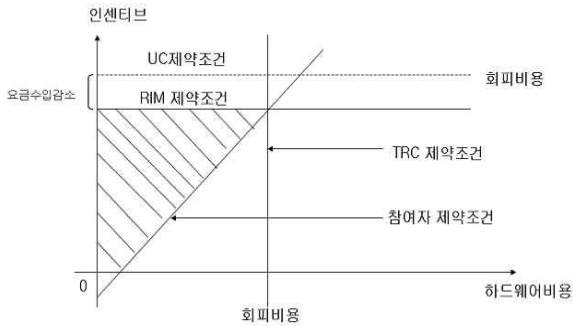


그림 1. DSM 비용효과와 캘리포니아Test관계
Fig. 1. The relation between DSM B/C and California Test

참고로 전력수요관리 프로그램은 보통 California Test(총자원비용(TRC), 비참여자영향(RIM), 전력회사비용(UC), 참여자영향(P))를 거쳐서 편익/비용(B/C) 비율이 1이상이면 프로그램 시행타당성이 있는 것으로 간주한다[2]. 즉 수요관리 참여주체 모두의 편익이 전제되어야 비로소 사업추진이 가능하다는 의미다. 상기 그림 1은 수요관리 프로그램 시행 전 비용효과(요금, 인센티브)의 검증을 도식화한 것이다[3].

한편으로 조명제어 시 겪게 되는 고객의 불편 가운데 가장 큰 것은 조도저하문제다. 제어 시 일정시간 조도저하는 피할 수 없기 때문에 수용가의 불편을 최소화하면서 동시에 소비전력을 최대한 줄일 수 있는 방법을 찾아야 한다. 본 논문에서는 형광등을 중심으로 8가지 제어방식을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였고, 그 결과를 분석하여 최적의 조명제어방식을 제시하였다. 여기서 최적이란 투자비측면, 조도저하측면 및 소비전력저감 측면을 함께 고려했을 때 가장 우수한 방법을 의미한다.

2. 본 론

2.1 시험조건 및 방법

본 조명제어시험을 위해 설정된 조건은 다음 표 1과

같다. 총 28대의 형광등을 그림 1과 같이 배치하였고, 등기구 높이 2.8m와 측정면 높이 0.75m에서 조명을 제어하며 각각의 조도변화를 측정하였다. 여기서 조도, 보수율 및 균제도는 일반적으로 다음 식 (1)~(4)와 같이 정의되며, 인공조명의 경우 균제도는 통상 1/3 이상 되어야 한다[4].

$$\text{조도}(E)=dF/dA \text{ lx} \quad (1)$$

dA : 미소면적 m^2 , dF : dA 에 입사하는 광속

$$\text{보수율}(M)=\text{낮아진 조도}/\text{초기조도} \quad (2)$$

$$\text{균제도}(\text{최소}/\text{최대})=\text{최소조도}/\text{최대조도} \quad (3)$$

$$\text{균제도}(\text{최소}/\text{평균})=\text{최소조도}/\text{평균조도} \quad (4)$$

표 1. 조명제어 시험조건

Table 1. The test condition for lighting control

항 목	내 용
시험공간	20m×12m(240m ²)
사용램프/수량	32W 직관형 형광램프×2EA
소비전력(등기구)	67W(안정기 포함) / 총 1,876W(28대)
등기구 간격	2.8m(가로) / 3.0m(세로)
등기구 높이	2.8m
측정면/높이	19m×11m / 0.75m
보수율/반사율	0.8 / 벽면 60%, 천정 80%, 바닥면 20%

다음 그림 1은 천정에 위치한 시험 등기구 배치를 나타낸다. 등기구 간격은 각각 2.8m, 3.0m이다.

상기 표 1 및 아래 그림 2와 같은 조건에서 다음 표 2에 제시된 방법으로 각각 조명제어시험을 수행하였는데 여기서 방식 2~4까지는 점멸제어이며, 방식 5~6은 디밍, 방식 6~9까지는 혼합제어방식이다. 제어되는 등기구의 수가 방식에 따라 각각 다르기 때문에 각 방식별로 전체제어대상 조명 대비 점등비율은 상이하다.

다음 그림 3의 시험장치는 조명전원을 공급하는 배전반에 설치된 것으로 전압을 최대 10%까지 낮추어 디밍제어를 수행하는 기능을 갖는다.

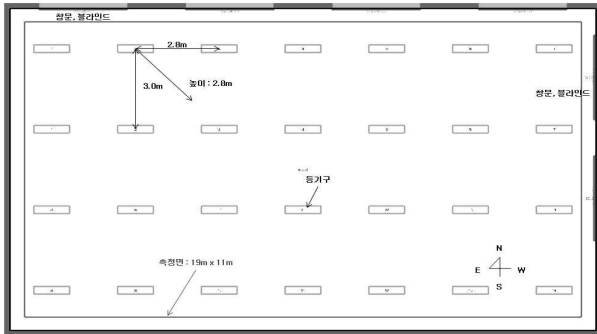


그림 2. 시험 등기구 배치도
Fig. 2. The layout of lighting for simulation



그림 3. 조명전력제어장치구성도
Fig. 3. The layout of lighting power control system

표 2. 조명제어 방법들
Table 2. Control methods of lighting power

순서	제어방식	점등비율
방식 1	전체 점등(제어안함)	100%
방식 2	가로열 제어	50.0%
방식 3	세로열 제어	42.8%
방식 4	체스판 제어	50.0%
방식 5	전체 디밍(10%)	90.0%
방식 6	개별 디밍(창측 30%, 내측 10%)	77.5%
방식 7	가로열 제어+전체 디밍(10%)	45.0%
방식 8	세로열 제어+전체 디밍(10%)	42.8%
방식 9	체스판 제어+전체 디밍(10%)	45.0%

KS C 7601의 형광램프 규격에 따르면 형광램프의 수명을 초기광속의 30%가 저하될 때까지로 규정하고 있다. 따라서 조명전력제어장치를 가동하여 잠시 10% 정도의 조도하락이 있는 경우 사용자는 큰 불편을 느끼지 않을 것으로 판단된다. 이 방법의 가장 큰 장점은 설치비가 저렴하여 제어비용이 적게 드는 점이다.

본론 2.1의 시험조건 하에서 시험을 수행하기 전, 조명용 전력제어장치 전력절감효과분석을 위한 시험회로 구성은 그림 4와 같다. 입력은 220V 60HZ 정격전압을 사용하며, 부하단에는 FLR32W 형광램프와 전자식안정기를 여러 개 설치하여 조도(lx)를 측정하고, 동시에 조명기기 1개는 광속계를 설치하여 광속(lm)을 측정한다. 그런데 제어 전후의 조도와 광속 및 전력량을 측정하기 위해서는 전환스위치 a의 연결조건(정상점등)에서의 전력량과 전환스위치 b의 연결조건(절감점등)에서의 전력량 결과를 각각 측정, 비교한다.

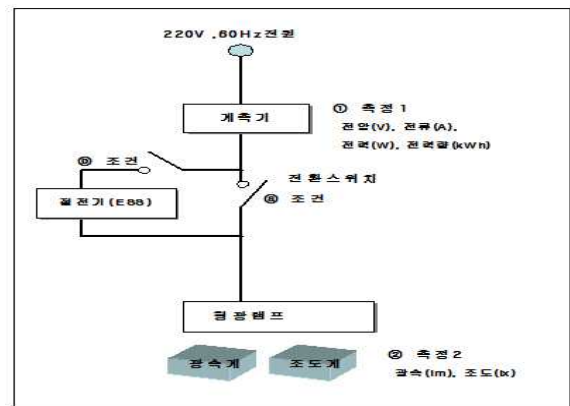


그림 4. 전력절감 시험회로 구성방법
Fig. 4. The configuration of test circuit

조명용 전력제어장치 전력절감능력 시험을 위해 상기 그림 4와 같은 회로를 구성한 다음 전원공급 후 30분부터 시험을 수행하였다. 측정항목은 표 3과 같으며, 조명기기 총 28개의 'On' 상태에서, 27개는 조도를 측정하되 나머지 1개는 광속계에서 광속을 측정한다. 한편으로 전력제어장치를 통하지 않는 상태에서 212V ~ 233V범위의 5가지 전압값에 대해 전압변동을 시험하며, 전력제어장치를 통하는 상태에서도 동일하게 시험한다. 이와 같은 설치 전후의 시험결과를 정리하면 표 4와 같다.

표 3. 측정 항목
Table 3. Test items

측정 항목	조도(lx), 광속(lm), 전력(W)
	전압(V), 전류(A), 전력량(kWh)

다양한 형태의 조명(형광등) 전력제어 실증시험을 통한 비용효과적인 전력수요관리방법 도출

표 2의 방식 1과 같이 조명제어하지 않은 상태의 초기 측정값은 다음 표 4와 같다. 여기서 최소/최대 조도차이는 약 180lx이며, 28개 조명의 총 소비전력은 약 1,876W이다. 전체점등시의 조도분포는 그림 6과 같으며, 모든 제어결과 데이터는 표 1을 기준으로 비교된다.

다음 표 4는 조명전력제어장치 설치전후의 소비전력 및 광속변화를 정리한 것이다. 시험결과 입력전압 구간의 평균 소비전력감소율은 -10.4%, 광속은 -9.2%로 각각 나타났다.

표 4. 전력제어장치 설치전후 비교
Table 4. The comparison of control system before/after installation

구분	입력 전압 (V)	전력제어장치 설치 전		전력제어장치 설치 후		전후 증감	
		소비전력 (W)	광속 (lm)	소비전력 (W)	광속 (lm)	소비전력 (W)	광속 (lm)
1	233	1,409	2,500	1,208	2,130	-201	-370
2	227	1,369	2,360	1,202	2,110	-167	-250
3	222	1,335	2,250	1,197	2,110	-138	-140
4	217	1,302	2,300	1,194	2,040	-108	-260
5	212	1,268	2,170	1,190	2,120	-78	-50
평균	222.2	1,336.6	2,316.0	1,198.2	2,102.0	-138.4	-214
증감률(%)						-10.4	-9.2

2.2 시험내용

상기 '2.1 시험조건 및 방법'에서 기술한 내용과 같이 시험을 수행한 결과를 정리하면 표 5~13과 같다. 먼저 표 5의 가로열 제어에서는 50%가 소등되며, 균제도는 각각 0.27, 0.40을 나타내고 있는데 일반적으로 균제도(Uniformity)는 1/3을 적당한 수준으로 보고 있다.

다음 표 7의 세로열제어의 경우 가로열, 체스판제어 대비 점등수량이 줄었고, 기타 다른 제어방식들에 비해 상대적으로 낮은 균제도 수치를 나타내고 있다.

표 5. 전체점등
Table 5. All lighting power on

점등수량	28대(100%)	평균조도	493lx(100%)
최소조도	386lx(100%)	최대조도	565lx(100%)
소비전력	1,876W(100%)	제어방식	하지않음
균제도 (최소/평균)	0.78	균제도 (최소/최대)	0.68

표 6. 가로열 제어
Table 6. All the width lighting power off

점등수량	14대(50.0%)	평균조도	254lx(51.5%)
최소조도	101lx(26.1%)	최대조도	374lx(66.1%)
소비전력	938W(50.0%)	제어방식	on/off 제어
균제도 (최소/평균)	0.40	균제도 (최소/최대)	0.27
필요설비	on/off 그룹별 배선공사, 그룹제어배전반 설치		

다음 표 8 체스판제어의 경우 표 6(가로열제어)와 점등수는 동일하지만, 균제도가 상대적으로 높게 나타났다.

표 7. 세로열 제어
Table 7. All the length lighting power off

점등수량	12대(42.8%)	평균조도	231lx(46.8%)
최소조도	60lx(15.5%)	최대조도	381lx(67.4%)
소비전력	804W(42.8%)	제어방식	on/off 제어
균제도 (최소/평균)	0.26	균제도 (최소/최대)	0.16
필요설비	on/off 그룹별 배선공사, 그룹제어배전반 설치		

표 8. 체스판 제어
Table 8. chessboard control

점등수량	14대(50.0%)	평균조도	253lx(51.3%)
최소조도	118lx(30.5%)	최대조도	358lx(63.3%)
소비전력	938W(50.0%)	제어방식	on/off 제어
균제도 (최소/평균)	0.47	균제도 (최소/최대)	0.33
필요설비	on/off 그룹별 배선공사, 그룹제어배전반 설치		

다음 표 9는 디밍 방식으로 제어한 경우이며, 균제도는 전체점등(미제어)조건과 동일하다.

다음 그림 5는 체스판제어시의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있으며, 전체적인 등기구 배치 및 3차원 구성을 파악하는데 도움을 주는 그림이다.

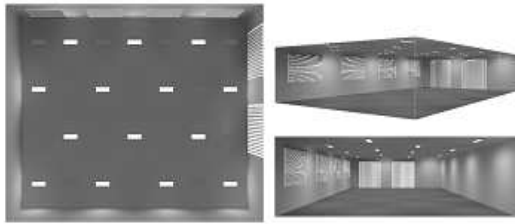


그림 5. 체스판제어시 시뮬레이션 결과
Fig. 5. The result of chessboard control

다음 표 10은 등기구별로 개별디밍하여 위치별로 제어량을 차등화한 것으로 균제도가 양호하다.

표 9. 전체디밍 10%
Table 9. Dimming control(10% power reduction)

점등수량	28대(100%)	평균조도	445lx(90.2%)
최소조도	347lx(89.8%)	최대조도	509lx(90.0%)
소비전력	1,688.4W(90.0%)	제어방식	통합디밍제어
균제도 (최소/평균)	0.78	균제도 (최소/최대)	0.68
필요설비	배전반용 절전장치(통합디밍장치)		

표 10. 개별디밍(창측 30%, 내측 20%)
Table 10. Individual dimming control(30% window side power off, 20% inside power off)

점등수량	28대(100%)	평균조도	386lx(78.2%)
최소조도	305lx(79.0%)	최대조도	450lx(79.6%)
소비전력	1,453.9W(77.5%)	제어방식	개별디밍제어
균제도 (최소/평균)	0.79	균제도 (최소/최대)	0.68
필요설비	등기구별 개별디밍제어장치		

다음 표 11은 점멸제어와 디밍을 혼합한 방식이다. 표 12의 혼합방식에 비해 균제도가 양호하나, 점등수량차이로 인해 소비전력은 오히려 불리하다.

다음 표 12는 역시 점멸제어와 디밍을 혼합한 방식이다. 표 11의 혼합방식에 비해 균제도가 불리하나, 점등수량차이로 인해 소비전력절감은 유리하다.

표 11. 가로열 제어+10% 디밍
Table 11. All the width lighting power off+ Dimming control(10%)

점등수량	14대(50.0%)	평균조도	230lx(46.6%)
최소조도	95lx(24.8%)	최대조도	337lx(59.6%)
소비전력	844.2W(45.0%)	제어방식	on/off제어. 통합디밍제어
균제도 (최소/평균)	0.41	균제도 (최소/최대)	0.26
필요설비	on/off 그룹별 배선공사, 그룹제어배전반 설치 배전반용 절전장치(통합디밍장치)		

표 12. 세로열 제어+10% 디밍
Table 12. All the length lighting power off+ Dimming control(10%)

점등수량	12대(38.5%)	평균조도	209lx(42.3%)
최소조도	54.1lx(14.0%)	최대조도	343lx(60.7%)
소비전력	723.6W(38.5%)	제어방식	on/off제어. 통합디밍제어
균제도 (최소/평균)	0.26	균제도 (최소/최대)	0.16
필요설비	on/off 그룹별 배선공사, 그룹제어배전반 설치 배전반용 절전장치(통합디밍장치)		

다음 표 13의 혼합제어방식은 표 10 혼합제어방식과 소비전력절감량은 동일하나 균제도가 상대적으로 더 높다.

표 13. 체스판 제어+10% 디밍
Table 13. Chessboard control+Dimming control(10%)

점등수량	14대(50.0%)	평균조도	229lx(46.4%)
최소조도	110lx(28.4)	최대조도	323lx(57.1%)
소비전력	844.2W(45.0%)	제어방식	on/off제어. 통합디밍제어
균제도 (최소/평균)	0.48	균제도 (최소/최대)	0.34
필요설비	on/off 그룹별 배선공사, 그룹제어배전반 설치 배전반용 절전장치(통합디밍장치)		

다음 그림 6은 전체점등시 바닥면으로부터 0.75m 높이에서의 조도분포를 보여주고 있다.

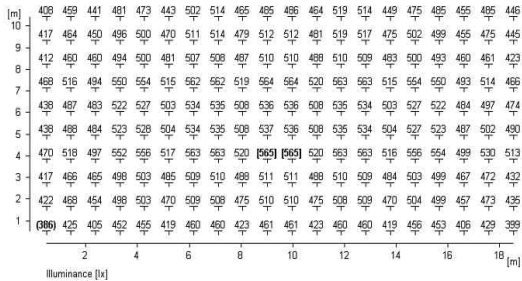


그림 6. 전체점등시 작업면 조도분포(바닥면으로부터 0.75m)
Fig. 6. The distribution of illumination during all lighting power on

2.3 시험 결과

‘2.2. 시험내용’에서 조명제어를 하지 않는 방안을 포함해 총 8가지 방법에 대해 시뮬레이션을 실시한 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 경제성측면에서 등기구마다 개별적으로 디밍 장치를 설치하는 방안이 가장 많은 비용이 발생할 것으로 예상된다. 반면 등기구 배선에 따라 점등을 제어하는 패턴제어(가로열, 세로열, 체크판제어) 방식이 가장 적은 비용이 들 것으로 분석된다. 하지만 배선이 요구하는 패턴으로 연결되지 않은 경우 오히려 배선 변경비용이 추가됨에 따라 더 많은 비용이 소요될 것으로 보이며, 작업면에도 얼룩이 질 가능성이 높은 것으로 나타났다.

둘째, 전체디밍 10%를 하기 위한 방안으로 조명전력제어시스템을 설치할 경우 가장 간편하게 설비를 교체할 수 있으며 장비 가격을 제외한 공사비용도 가장 저렴한 것으로 예상된다. 또한 균제도(최소조도/최대조도) 측면에서도 이 방식이 개별디밍을 사용하는 것 다음으로 높게 나타나고 있다(0.68). 비록 다른 방식에 비해서 전체전력절감효과가 적다는 것이 단점으로 나타나지만 설비 설치가 가장 단순하기 때문에 다른 방식에 비해 고객 참여율이 높을 것으로 예상되는 장점이 있다. 아울러 여러 조명기기를 통합해서 관리

할 수 있기 때문에 전력회사와의 통신연결 측면에도 장점이 많을 것으로 보인다. 따라서 고객의 투자부담을 어느 정도 완화하면서 비교적 높은 수요관리 만족도를 얻을 수 있는 방법은 혼합형태를 취할 수밖에 없다.

마지막으로 10% 디밍은 배전반의 전력절감제어장치가 전제된 경우로서 전통적인 디밍(등기구 내 장치 내장) 방식 적용 시 경제성이 적어 수요관리 관점의 사업성이 현저하게 떨어지는 점을 간과해서는 안 될 것이다.

표 14. 최종 시험결과
Table 14. The final simulation result

순서	균제도	최소조도	소비전력	예상비용	
방식 1	0.78	0.68	386lx	1,876W	-
방식 2	0.40	0.27	101lx	938W	小
방식 3	0.26	0.16	60lx	804W	小
방식 4	0.47	0.33	118lx	938W	小
방식 5	0.78	0.68	347lx	1,688W	中
방식 6	0.79	0.68	305lx	1,454W	高
방식 7	0.41	0.26	95lx	844W	中高
방식 8	0.26	0.16	54lx	724W	中高
방식 9	0.48	0.34	110lx	844W	中高

상기 표 14의 예상 비용항목은 수용가가 조명제어 수요관리지원사업에 참여할 경우 각 제어방식별로 수용가 구내에 제어설비를 구축하는데 소요되는 투자비를 분석하여 정리한 것이다. 산출내역은 가격변동성을 감안하여 정량화가 곤란하므로 정성적으로 비교했음을 밝혀둔다.

3. 결론

지금까지 조명전력 수요관리를 위한 8가지 시험수행내용과 결과를 살펴보았다. 조명수요관리는 수용가의 불편 최소화 및 비용효과측면에서 가장 적합한 방법을 찾는 것이 중요하다. 그러한 관점에서 최적의 조명제어방법은 적용 현장의 조건에 따라 상이할 수 있다. 일반적으로 디밍보다는 점멸방식이 개별제어보다

패턴제어가 비용측면에서 저렴하지만, 수용가 만족(참여)측면에서 균제도 등을 고려하면 개별제어와 디밍이 가장 우수하다.

전체적으로 비용과 소비전력절감, 그리고 본 논문에서 적용한 시험가운데 균제도 측면에서 가장 권장할 만한 방법은 혼합방식(체스판+디밍10%)으로 판단된다. 물론 제어방법은 얼마든지 다양하게 적용할 수 있지만, 기본적인 방법론(점멸(패턴)+디밍)은 크게 달라지지 않을 것으로 사료된다. 결론적으로 제어방식이 상이한 8가지 방법을 통해 시험한 결과 수요관리 관점에서 ‘체스판 제어+10% 디밍’ 방식이 가장 우수한 것으로 판명되었다[5].

또한 조명제어시스템의 설치여건이 건물마다 상이한 점을 감안할 때, 반드시 위와 같은 방식이 최적방안이 아닐 수 있으며 비용, 만족도, 절감능력의 관점에서의 현장여건에 부합하는 최선의 해답을 찾는 노력이 절대적으로 필요할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 기반기금의 전력산업인프라구축 지원사업(전력수요관리평가사업)의 지원으로 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- [1] Research on the Promotion System for Demand Responsive Lighting(Final Report), pp. 82, 2009.1.
- [2] The theory and working of DSM(KEPCO), pp. 212, 2002.11.
- [3] Korea Energy Management Cooperation(KEMCO) DSM Program M&V and economic evaluation(Final Report) pp. 315~328, 2000.12.
- [4] The basic of lighting(Choi Hwa Kyung, PPT), pp 2, 2008.
- [5] Research on the Promotion System for Demand Responsive Lighting(Final Report), pp. 25, 2009.1.

◇ 저자소개 ◇



양승권 (梁承權)

1962년 12월 10일생. 1985년 아주대학교 전자공학과 졸업. 1989년 조선대학교 산업대학원 졸업. 2002년~현재 충남대학교 정보통신공학 박사수료.



김대영 (金大瑛)

1952년 5월 28일생. 1975년 서울대학교 공과대학 전자공학과 졸업. 1977년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(석사). 1983년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(박사). 1983년~현재 충남대학교 정보통신공학과 교수. 2006년~현재 ISO/IEC JTC 1/SC6 의장. 2007년~현재 미래인터넷포럼(FIF) 부의장. APAN(Asia-Pacific Advanced Network) 부의장. 2009년~현재 아시아인터넷포럼(AsiaFI) 부의장. 2010년~현재 미래인터넷표준포럼(FIF-std) 의장. 관심분야 : 미래인터넷, 인터넷 표준, 인터넷 아키텍처