

근로자의 위험지수를 표시하는 안전모

Safety Helmet Capable of Indicating the Worker's Risk Indices

구 종 화* · 이 호 현** · 이 강 석*** · 전 명 근†

(Jong-Hwa Gu · Ho-Hyun Lee · Kang-Suk Lee · Myung-Geun Chun)

Abstract - Recently, due to the effect of global warming, the high temperature phenomenon continues, and the time for workers exposed to high temperature, cold and infrared is increasing and then safety is threatened. Due to the nature of on-site work, the work is being carried out in an unreasonable manner due to the process, which is exposed to disasters due to high temperature and cold. Even though the injured skin may be damaged, the worker may not be aware of it and may be injured. By understanding the working environment of the worker and calculating the risk index and expressing it on the helmet, the surrounding colleagues inform the worker of the risk and take appropriate measures so that the accident can be prevented in advance. This study was conducted to investigate the effect of exposure duration on the workers' by measuring the exposure time, the risk index is displayed in the form of a traffic light to the helm, informing neighboring workers and managers, and transmitting to the workers by voice.

Key Words : Traffic light safety helmet, Heat environment, Cold environment, Ultraviolet ray index, Risk index

1. 서 론

건설업은 타 업종에 비하여 재해율과 사망률이 높고 특히 소규모 건설현장의 경우 안전관리의 사각지대에 있다. 2016년도 고용노동부 자료에 의하면 건설현장의 산업재해 중 6개월 미만 근속자의 재해율이 전체의 92.03%를 차지하고 있는 것으로 보고되고 있다[1]. 건설업의 특성상 옥외작업이 많고 옥외작업의 경우 고열 및 한랭에 대한 대책이 사실상 전무한 실정이다. 2016년도 질병관리본부 발표 자료를 보면 최근 이상기온 현상으로 온열질환이 계속 증가하고 있는 것으로 나타났다[2]. 건설현장에서 관리자의 의식부족, 근로자의 자각이 늦고 순용근로자와 비순용 근로자 간의 차이 등의 이유로 인하여 안전에 주의를 기울여야 한다. 특히, 작업현장에서 온열질환을 대수롭지 않게 생각하다가 큰 사고로 이어지므로 이를 예방하기 위한 조치 및 장치의 개발은 중요하다.

현재 근로자의 안전을 위해 안전모를 착용하지만, 온열상태에 따른 근로자의 상태를 표시하는 안전모는 없는 상태이다. 본 논문에서는 근로자가 고온, 저온 및 자외선에 노출된 시간을 누적하여 위험지수를 산정하고 이를 안전모에 표시함으로써 주변 동료 또는 관리자가 인지하여 적절한 조치를 취하거나 근로자에게 음성으로 안내하여 근로자 스스로 휴식을 취할 수 있도록 하여 사고를 미연에 방지할 수 있도록 시스템을 개발하였다 고온 및 한랭에 의한 위험지수 산정은 2015년도 안전보건공단에서 제시한 고열작업의 노출기준과 한랭작업의 노출기준을 참고하고, 실험 결과를 분석하여 열지수에 의한 위험지수 및 한랭온도에 의한 위험지수 산정방법을 제시하였다. 또한 자외선에 의한 위험지수 산정은 2015년도 기상청에서 발표한 자외선지수 범위에 따른 주의사항을 참고 하여 안전모 착용 시부터 누적 계산하는 자외선에 의한 위험지수 산출방법을 제시하였다.

를 취하거나 근로자에게 음성으로 안내하여 근로자 스스로 휴식을 취할 수 있도록 하여 사고를 미연에 방지할 수 있도록 시스템을 개발하였다 고온 및 한랭에 의한 위험지수 산정은 2015년도 안전보건공단에서 제시한 고열작업의 노출기준과 한랭작업의 노출기준을 참고하고, 실험 결과를 분석하여 열지수에 의한 위험지수 및 한랭온도에 의한 위험지수 산정방법을 제시하였다. 또한 자외선에 의한 위험지수 산정은 2015년도 기상청에서 발표한 자외선지수 범위에 따른 주의사항을 참고 하여 안전모 착용 시부터 누적 계산하는 자외선에 의한 위험지수 산출방법을 제시하였다.

2. 근로자의 위험지수 산정 알고리즘 구현

2.1 고온에 의한 위험지수

고온에 의한 위험지수는 표 1과 같이 안전보건공단에서 발표한 자료에 의하여 산정하였다. 안전보건공단의 자료는 WBGT(Wet Bulb Globe Temperature) 자료를 기반으로 하지만 WBGT값의 산출근거인 흑구온도, 건구온도, 습구온도를 안전모에서 측정할 수 있도록 구현하는 것이 불가하여

표 1 고온에 의한 위험지수

Table 1 Risk index due to high temperature

Temperature	Normal	Caution	Warning	Reset
32°C More than	less than 20 minutes	20~30 minutes	more than 30 minutes	1 hour break
31°C More than	less than 30 minutes	30~40 minutes	more than 40 minutes	40 minutes break
30°C More than	less than 40 minutes	40~60 minutes	more than 1 hour	20 minutes break
29°C Below	Always			

† Corresponding Author : Department of Electrical and Semiconductor Engineering, Chungbuk University, Korea
 E-mail : mgchun@cbnu.ac.kr

* Department of Electrical and Semiconductor Engineering, Chungbuk University, Korea

** K-water Research Institute, Korea Water Resources Corporation, Korea

*** KwangWoon Information Co. Ltd., Korea

접수일자 : 2018년 5월 7일

수정일자 : 2018년 5월 29일

단순 온도만 참고하여 안전모 내부온도와 외부온도 중 높은 온도를 기준으로 고온에 의한 위험지수를 산정하여 시험용 안전모에 적용하였다[3].

2.2 한랭에 의한 위험지수 산정

한랭에 의한 위험지수는 표 2에 나타난 바와 같이 안전보건공단에서 발표한 한랭 노출기준에 따라 작업강도는 중등 작업을 적용하여 산정하였다. 안전보건공단에서 발표한 저온에 의한 노출기준인 등가냉각온도는 온도와 풍속을 기준으로 하여 산정되는 값인데 안전모에서 풍속을 측정할 수 있는 센서를 장착하게 되면 안전모 본연의 역할을 해칠 수 있어 풍속을 제외한 온도 값만으로 구현하였다[4].

표 2 한랭에 의한 위험지수

Table 2 Risk index due to cold temperature

Temperature	Normal	Caution	Warning	Reset
-40°C Below	less than 30 minutes	30~40 minutes	more than 40 minutes	30 minutes break
-25°C Below	less than 40 minutes	40~60 minutes	more than 60 minutes	30 minutes break
-10°C Below	less than 1 hour	60~90 minutes	more than 90 minutes	30 minutes break
-9°C More than	Always			

2.3 자외선에 의한 위험지수 산정

자외선에 의한 위험지수는 기상청에서 배포한 자외선지수의 범위에 따른 주의사항을 참고하여 자외선지수를 산정하였으며 이 자외선 지수에 노출시간을 계산하여 표 3과 같이 위험지수를 산정하였다[5].

표 3 자외선에 의한 위험지수

Table 3 Risk Index due to UV-rays

UV Index	Normal	Caution	Warning	Reset
11 More than	less than 2 minutes	more than 20 minutes	more than 40 minutes	30 minutes break
8~10	less than 40 minutes	more than 40 minutes	more than 70 minutes	30 minutes break
6~7	less than 60 minutes	more than 60 minutes	more than 90 minutes	30 minutes break
3~5	less than 90 minutes	more than 90 minutes	more than 2 hours	30 minutes break
2 Less than	Always			

2.4 제안된 위험지수 판정 알고리즘

스마트안전모의 위험지수는 고열에 의한 위험지수, 한랭에 의한 위험지수, 적외선에 의한 위험지수 중 가장 높은 위험지수를 최종 선정하여 안전모에 표시한다. 각각의 위험지수는 1분에 한번 씩 산정되며 각각의 지수는 매분 누적된

값이 목표값에 도달하면 해당위험지수를 표시 하도록 하였다. 최종 위험지수는 Caution 단계와 Warning 단계가 있으며 이외의 경우는 Normal 단계로 한다. Normal 단계는 녹색 LED를 점등하고 Caution 단계에서는 주황색 LED를 점등하며 Warning 단계는 적색 LED를 점멸하도록 한다. 고열, 한랭, 적외선의 위험지수중 Normal이 가장 아래 단계이며 Caution이 그 위의 단계이고 Warning은 가장 높은 단계이다. 동시에 여러 단계의 지수가 나타나면 높은 단계의 위험지수가 우선 선정되도록 한다.

고열환경을 평가하기 위하여 온도, 습도 등의 요소를 이용한 HI(Heat Index), WBGT 등이 활용되고 있다. 이중 가장 많이 이용되는 열지표는 체감온도를 의미하는 WBGT로서, US Army and Marine Corps에서 열 질병을 측정하기 위한 목적으로 1957년에 Yaglou and Minard에 의해 개발되었으며, 그 측정은 실외에서 일사가 있는 경우 식 (1)을 적용하고, 실내에서 일사가 없는 경우 식 (2)를 적용하고 있다[6].

$$WBGT = 0.7NWB + 0.2GT + 0.1NDB \quad (1)$$

$$WBGT = 0.7NWB + 0.3GT \quad (2)$$

온도만으로 고열작업에 의한 위험지수를 산정하는 것은 무리가 있어 온도와 습도를 함께 고려한 지수를 활용하여 사용하여야 한다. 온도와 습도를 함께 고려한 열지수(Heat Index)는 1979년 미국의 미 기상국인 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)가 발표하였으며, 국내 기상청에서 제공하는 열지수에도 활용되고 있다[7, 8]. 스마트안전모의 고열 위험지수는 기상청에서 발표한 열지수표를 참조하여 산정한다[9].

저온환경을 평가하는 기준은 기온, 풍속, 습기와 물 등의 요인에 의하여 결정되는데 저온환경의 지표로 사용되고 있는 체감온도는 기온과 풍속에 의하여 산출된다. ISO 11079에서는 체감온도 TWC (Wind Chill Temperature)를 이용하여 국소 노출피부의 동결 위험을 평가하도록 제시하였다[10]. 이것은, 풍속 4.2 km/h에서의 기온 Ta와 등가의 냉각력을 일으키는 풍속과 기온의 복합지표이고, 식 (3)과 같이 산출한다.

$$T_{wc} = 13.12 + 0.6215 \times T_a - 11.37 \times v^{0.16} + 0.3965 \times T_a \times v^{0.16} \quad (3)$$

식 (3)에서 v는 지상 10m에서 측정된 풍속이며, Ta는 기온이다. v를 지상에서 실측된 풍속을 사용하는 경우는 1.5 배로 하여 식 (3)의 v에 대입한다. 식 (3)에 온도와 풍속을 대입하여 작성하면 체감온도 표를 산출할 수 있다[6].

본 논문에서는 선형회귀모델을 이용하여 고열에 의한 위험지수 RI_{TH}, 한랭에 의한 RI_{TL} 및 자외선에 의한 RI_{UV}를 식 (4), 식 (5) 및 식 (6)에 나타난 바와 같이 계산하였다.

$$RI_{TH} = \sum_N X_n \quad (X = 0.0038(HI)^2 - 0.2115(HI) + 6.2077) \quad (4)$$

$$RI_{LH} = \sum_N Y_n \quad (Y = -0.0013C^2 - 0.1975C + 0.02741) \quad (5)$$

$$RI_{UV} = \max(z_1, z_2, \dots, z_n) \times t \quad (6)$$

식 (4)에서 HI는 열지수로 화씨온도(T)와 상대습도(R)를

3.2 데이터 분석

실험은 현장에서 약 4개월간 진행 하였으며 스마트안전모 내부 및 외부 온도 변화를 그림 5에 나타냈다. 그림 5에서 보는 바와 같이 외부 온도는 급격한 변화를 보이는 반면 내부 온도는 완만한 변화를 보이는 특성을 보이고 있어 온도 변화에 의한 위험지수 산정 시 내부온도에 가중치를 적용하여야 할 것으로 보인다.

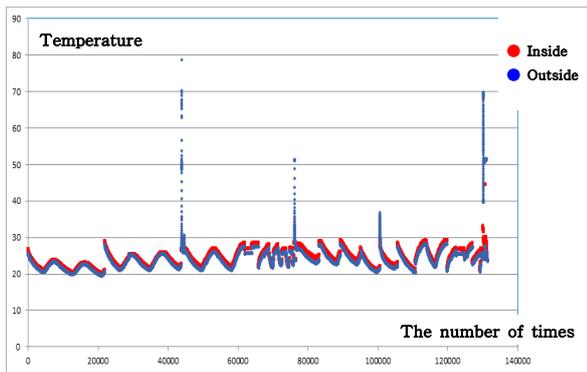


그림 5 내부온도 및 외부온도 실험결과
Fig. 5 Internal and external temperature test results

그림 6에서는 현장에서 테스트한 UV-A값을 나타냈다. 그림 6에서 보는 바와 같이 UV-A는 100미만의 값을 차지하고 있다. 자외선측정용은 테스트용으로 구현한 스마트안전모 중앙상단 내부에 설치하여 빛물 등 오염을 방지하기 위하여 투명커버를 장착하였다. 이 때문에 근로자가 움직이면서 작업할 경우 태양을 정면으로 바라보지 않고 측면 또는 전혀 측정할 수 없는 후면으로 이동하는 상태가 대부분으로 나타났다. 자외선 측정값의 최고치는 9618로 나타났고 대부분의 경우는 1000이하(자외선지수 0-1)의 수치를 보이는 것은 실제 자외선 지수를 제대로 측정하지 못하는 것으로 보이며, 이를 보완하기 위해서는 안전모의 어느 방향에서도 자외선을 측정할 수 있도록 센서를 설치해야 할 것으로 보인다. 본 실험에서는 자외선에 의한 위험도는 낮은 것으로 나타났다.

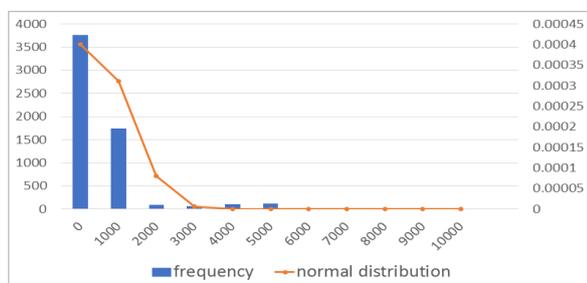


그림 6 UV-A 현장테스트
Fig. 6 UV-A field test

현장 실험에서 대부분의 경우 31°C를 넘었으며 40분 이내에 경고단계의 위험지수를 표시하였다. 현장 근로자는 이

제 막 일을 준비하고 시작하려고 하는데 경고를 표시하여 거의 무시하고 작업하는 경우가 많았다. 또한 온도가 높은 곳에서 작업하다가 온도가 낮은 곳으로 이동하여 작업해도 이를 반영하지 못하는 문제점을 드러냈다. 안전보건공단의 자료를 참조하여 위험지수를 산정하였는데 안전보건공단의 지침은 WBGT를 측정하여 조치하도록 하고 있으나, 본 실험에서는 단순 온도만으로 위험지수를 산정하여 적용하였다.

WBGT지수는 흑구온도계, 자연습구온도계, 건구온도계의 세 가지 온도계로 측정하여 기온, 상대습도, 복사열, 기류, 육체노동강도, 의복을 고려하여 산정한 지수인데 반하여 본 실험에 사용한 지수는 온도와 자외선지수만으로 진행하여 실제 근로자의 열지수를 반영하지 못한 한계가 있다. 그림 6에서 보는 바와 같이 온도는 평탄한데 반하여 습도는 변화의 폭이 큰 것을 볼 수 있고, 온도가 폭염수준의 40°C 근처에서 습도가 현저히 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이는 측정당시 지역의 특성 일 수도 있으나 높은 온도에 의해 습도가 낮아지는 것으로 볼 수도 있을 것이다. 안전모 내부에서 측정된 습도 데이터 이므로 고온에 의하여 땀의 증발이 가속화 되었다고 해석할 수도 있을 것이다. 또한 안전모 내부의 습도는 땀으로 인하여 주변 환경의 습도보다 높게 나타나는 특성을 그림 6에서 볼 수 있다. 이를 참고하여 위험지수 산정 시 습도정보도 고려한 열지수 및 습도에 대한 가중치를 고온에 의한 위험지수 산정 시 참고 하여야 할 것이다.

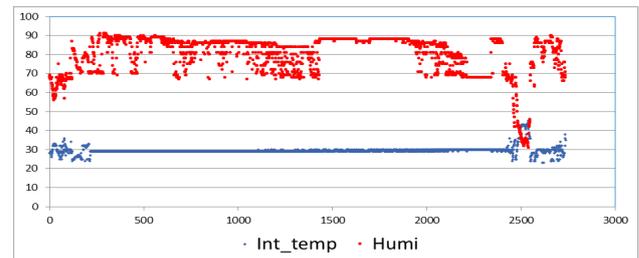


그림 7 온도 및 습도 현장테스트
Fig. 7 Temperature and humidity field test

3.3 작업시간에 따른 위험지수

그림 8에서는 고열에 의한 위험지수 결과를 나타냈다. 그림 8에선 보는 바와 같이 온도만 적용한 기존의 위험지수 산정방식은 온도에 의해서 작업시간별 위험지수를 표시하여 계단적인 특성이 나타났다. 본 논문에서 제안한 고열에 의한 위험지수는 비순응 근로자와 순응 근로자 간의 온도와 습도를 고려한 열지수에 의해 위험지수가 선형적으로 나타내고 있음을 볼 수 있다.

그림 9에서는 한랭에 의한 위험지수 결과를 나타냈다. 그림 9에서 보면 기존의 위험지수 산정 방식은 계단 형태로 나타나고 있으나 본 논문에서 제안한 산정 방식은 온도가 낮을수록 작업시간이 비선형 적으로 줄어들고 있으며 높은 온도에서는 다소 큰 폭의 차이를 보이고 있다. 비순응 근로자와 순응 근로자간의 차이도 높은 온도에서는 차이가 크지만 낮은 온도에서는 그 차이가 줄어들어 줄어든 것을 알 수 있다. 이는 본 논문에서 제안한 위험지수 산정 방식이 근로자의 한랭 환경에 대한 위험지수를 좀 더 잘 표현하고 있다고 볼

수 있다.

자외선 지수에 의한 위험지수는 2241이상의 자외선 값을 대상으로 위험지수를 산정하고 있으며 그 결과를 그림 10에 나타냈다. 그림 10에서 보는 바와 같이 측정 당시 자외선수치를 자외선 지수로 변환하여 해당 지수별 노출시간에 따라 계산하는 방식은 60분 이후 급격히 증가하여 120분 만에 위험지수를 표시하고 있다. 본 논문에서 제안한 매분 측정된 자외선수치를 누적하여 목표 값에 이르는지 확인하는 방식은 35분후 증가하여 85분에 위험지수를 표시하며, 최대값을

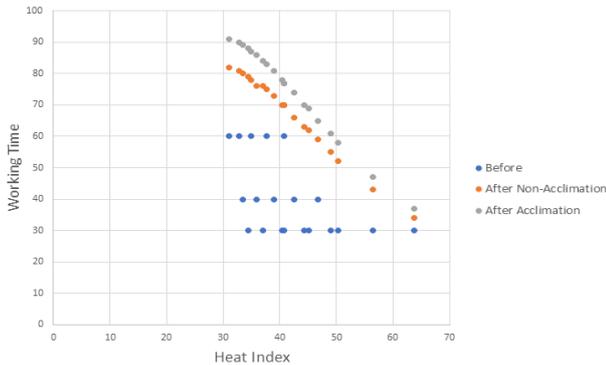


그림 8 열지수와 작업시간에 따른 위험지수
Fig. 8 Risk index according to heat index and working time

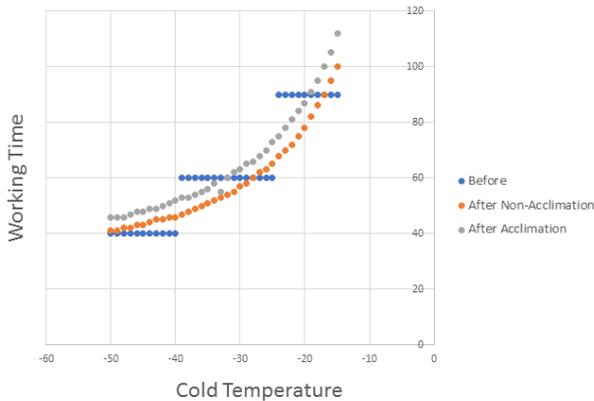


그림 9 한랭과 작업시간에 따른 위험지수
Fig. 9 Risk index according to cold temperature and working time

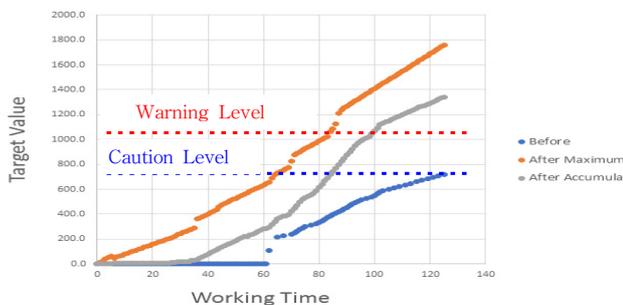


그림 10 자외선에 의한 위험 지수
Fig. 10 Risk index by UV

노출시간으로 계산하는 방식으로 하면 꾸준히 증가하여 60분 만에 위험지수를 표시 하는 것을 볼 수 있다. 현재 어떤 방식이 옳다고 확신하기는 이르지만 태양의 자외선 지수가 급격히 변동하지 않는다고 가정할 때 안전모에서 자외선 지수를 정확히 측정하기 어렵기 때문에 최대값으로 위험지수를 표시하는 것이 현재로서는 최선의 방안이라고 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 건설현장 근로자의 위험지수를 표시하는 안전모에 대한 개발 및 위험지수 산정으로, 이를 위하여 현장테스트를 통한 자료를 분석하고 선행연구를 참조하여 최종 위험지수를 산정하였다. 자외선 측정 시 센서를 안전모 내부에 설치하여 자외선을 측정 하였는데 유효각도가 좁게 형성되어 자외선측정이 제대로 이루어지지 못했다. 또한 근로자의 지속적인 움직임으로 인하여 측정값이 매우 큰 편차를 보였다.

향후 연구는 개선된 위험지수 산출방법을 적용한 스마트 안전모를 현장테스트 실시하고 현장에서 근로자별로 LED 점등 시 근로자의 건강상태를 설문으로 확인 하여야 할 것이다. 본 연구에서 개발한 스마트안전모가 근로자의 위험지수를 표시하여 건설현장의 재해 율을 낮추고 근로자 개인의 안전사고 예방에 기여하기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2018-2013-1-00881).

References

- [1] Korea Ministry of Employment and Labor, "Analysis of Industrial Accidents in 2016," 2016.
- [2] Korea Ministry of Health and Welfare, "Report on the status of the report of the heat illness caused by the heat in 2016," 2016.
- [3] Korea Occupational Safety & Health Agency, "Hot Environment Management Guidelines(W-12-2015)," 2015.
- [4] Korea Occupational Safety & Health Agency, "Cold Environment Management Guidelines(W-17-2015)," 2015.
- [5] Korea Meteorological Administration Press Releases, "Maintain skin health even in spring and autumn with total uV index (Note 4 Precautions according to the range of UV index)".
- [6] Kim, Dong-Hyun, and Lee, Jun-Bum, "Estimation of Degradation of Work Capability of High-Temperature Environmental Workers Due to Climate Change and Identification of Glandular Clusters," *Korea Environment Policy Evaluation Institute*, 2015.

- [7] Steadman RG, "A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science," *J Appl Meterol*, vol. 18, no. 7, pp. 861-873, 1979.
- [8] NOAA Webpage(<http://www.nws.noaa.gov>, Search September 2017).
- [9] Korea Meteorological Administration Webpage (<http://www.kma.go.kr>, Search September 2017).
- [10] ISO 11079, Ergonomics of the thermal environment - Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects, International Organization for Standardization, 2007.



전 명 근 (Myung-Geun Chun)

1987년 부산대학교 전자공학과 졸업. 1989년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 대학원 졸업(공학석사). 1993년: 한국과학기술원 전기및전자공학과 대학원 졸업(공학박사). 1993년~1996년 삼성전자 자동차 연구소 선임연구원. 2000년~2001년 University of Alberta 방문 교수. 2010년~2011년: Temple University 방문 교수. 1996년~현재 충북대학교 전자공학부 교수. 2008년~현재 : TTA PG505 표준위원회 의장
E-mail : mgchun@cbnu.ac.kr

저 자 소 개



구 종 화 (Jong-Hwa Gu)

2006년 한국사이버대학교 컴퓨터정보통신학과(공학사), 2018년: 충북대학교 전기전자반도체공학과(공학석사), 현재: (주)광운정보 연구개발부장
E-mail : jhgu1968@hanmail.net



이 호 현 (Ho-Hyun Lee)

1998년 원광대학교 전자공학과 졸업. 2010년 한국과학기술원 대학원 졸업(공학석사), 2016년 충북대학교 대학원 졸업(공학박사). 1998년~현재 한국수자원공사 재직
E-mail : lhh@kwater.or.kr



이 강 석 (Kang-Suk Lee)

1985년 청주대학교 전자공학과(공학사), 현재 (주) 광운정보 대표이사
E-mail : kwdata@hanmail.net