

디지털 측정기로 측정된 급기가압 제연구역의 출입문 개방력에 대한 신뢰성 분석 및 최적 조건 제시

이재오¹, 최충석^{2*}

¹대전대학교 소방방재학과, ²전주대학교 소방안전공학과

Reliability Analysis of Access Door Opening Force Measured with a Digital Force Gauge of a Pressurized Smoke Control Zone and Presentation of Optimum Conditions for the Opening Force

Jae-Ou Lee¹, Chung-Seog Choi^{2*}

¹Department of Fire & Disaster Prevention, Daejeon University

²Department of Fire Safety Engineering, Jeonju University

요약 본 연구는 디지털 측정기(Digital Force Gauge)를 이용해 급기가압 제연구역 출입문의 개방력을 측정하여 신뢰성을 검증하는데 있다. 개방력은 제연구역에 급기가압 기류가 들어가기 전과 후의 개방 부하를 측정하였다. 측정값은 미니탭 프로그램(Minitab PGM)의 AD(Anderson Darling) 통계분석법으로 신뢰도를 검증하였다. 분석된 P값은 제연설비의 작동 전과 후의 일부 층을 제외하고는 0.05 이상을 나타낸 것으로 보아 95% 신뢰도가 있는 것으로 해석된다. 측정값의 정규분포는 제연설비의 작동 여부와 관계가 없었으며, 계측기의 정밀도는 신뢰할 수 있는 것으로 분석된다. 그리고 급기가압 제연설비의 최적 설계 조건은 계측기의 정밀도와 신뢰성, 측정자의 바른 자세, 출입문의 동일한 조건 등이 주요 인자로 판단된다. 따라서 급기가압 제연구역 출입문의 개방력의 측정은 디지털 측정기가 적합한 것으로 판단된다. 또한 효과적인 개방력의 측정은 측정자의 자세 표준화, 출입문의 초기 개방력의 설정 등이 주요 변수로 작용하고 있음을 알 수 있었다.

Abstract The aim of this study was to measure the opening force of an access door of a pressurized smoke control zone and verify the reliability of the opening force. For the access door opening force, the opening load of the access door was measured before and after pressurized air had entered the smoke control zone. The reliability of the measured values was verified using the Anderson Darling's statistical analysis method of the Minitab Program. Because the analyzed P values were greater than 0.05 except for some floors before and after the operation of the smoke control equipment, the opening force was found to have 95% reliability. The normal distribution of the measured values showed no relationship with the operation of the smoke control equipment and the precision of the force gauge was believed to be reliable. The major factors for the optimal design of the pressurized smoke control equipment include the precision and reliability of the force gauge, the correct posture of the measuring person, and the same conditions for access doors. Therefore, a digital force gauge is believed to be suitable for measuring the opening force of the access door of a pressurized smoke control zone. In addition, standardization of the posture of a measuring person, the setup of the initial opening force of an access door, etc., are major variables for effective measurements of the door opening force of an access door.

Keywords : Differential pressure, Opening force, Anderson-Darling, Normal distribution, Smoke control zone

*Corresponding Author : Chung-Seog Choi(Jeonju University)

Tel: +82-10-3695-7460, Fax: +82-63-220-2056 email: enetek@naver.com

Received May 7, 2015

Revised (1st November 18, 2015, 2nd December 15, 2015)

Accepted January 5, 2016

Published January 31, 2016

1. 서론

초고층과 대형 건축물이 지속적으로 준공되고 있지만 화재에 대한 안전대책은 이를 반영하지 못하고 있다. 최근 화재 통계를 보더라도 인명 및 재산피해의 피해가 꾸준히 늘어나고 있다. 법규는 안전을 위한 최소기준으로 인식을 하여야 하지만 건축물을 사용하는 사람은 경제적인 문제로 인식하기 때문에 문제는 더욱 심각하다. 구획된 공간과 개방된 공간에서의 화재의 패턴을 정확히 이해하고 이에 따른 소방 활동의 중요성이 인식됨에도 불구하고 이를 충분히 반영하지 못하고 있다. 건축물의 대형화 및 초고층화는 재해 발생에 따른 위험성을 가중시킬 우려가 있으며, 화재를 명확하게 해석하고 평가할 수 있어야 피해를 최소화할 수 있다[1,2]. 화재가 구획된 공간에서 발생되면 화염과 열은 방화구획에 의해 차단할 수 있지만 연기는 구획공간에서 지속적인 에너지의 증가와 외부의 환경적 요인에 의해 건물의 누설 공간을 통해 인접된 장소로 빠르게 확산된다[3,4]. 내화건축물의 주요성능은 차염성, 차열성, 하중 지지력으로 인식하고 있으나 연기를 차단하는 차연성에 대한 성능기준은 전무한 상태이다. 효율적인 피난 유도과 공간 위험성을 예측하기 위해서는 공간의 가연물을 고려하여 화재의 방출에너지(HRR; Heat Release Rate)를 예상하고 그에 적절한 성능 위주의 내화 및 방화설계가 필요하다[5].

화재 시 제연구역의 출입문을 개방하고 폐쇄하는 부분은 연기의 이동방지 및 피난하는 사람에 대한 개방 부하를 최소화할 수 있는 방향으로 연구가 요구되며 이는 신뢰성 있는 개방력 측정에 의해서 가능할 것이다. 이를 위해 개방력을 측정계의 종류와 특성에 따라 측정값을 분석하고, 신뢰성을 검토하여 측정계의 적정성 여부를 확인할 필요가 있겠다.

따라서 본 연구에서는 산업 현장에서 보편적으로 사용되고 있는 디지털 측정기(Digital Force Gage)를 이용하여 급기가압 제연구역의 출입문에 대한 개방력을 측정하고 신뢰성을 검증하여 객관적인 측정 방법과 설계 방안을 제시하고자 한다.

2. 이론 및 실험 조건

제연설비는 화재가 발생한 실에서 인접지역으로 연기의 확산을 방지하는 목적과 화재가 발생한 공간의 연기

를 배연하는 목적으로 설치되고 있다. 국가화재안전기준(NFSC; National Fire Safety Code)의 NFSC 501A는 인접지역으로 연기의 확산을 방지하는 목적으로 사용된다. 급기가압 부위는 특별피난계단의 계단실, 부속실, 비상용 승강기의 승강장, 특별피난계단의 계단실 및 부속실등 이다[6-8]. 개방력의 실측 건축물은 지상 2층에서 지하 5층으로 급기가압 방식 중 부속실 단독 제연방식을 적용하고 있으며, Fig. 1과 같다.

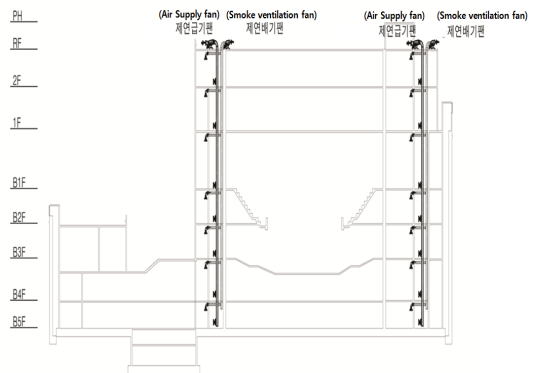


Fig. 1. Smoke control system flow diagram of opening force measuring objects in a smoke control zone

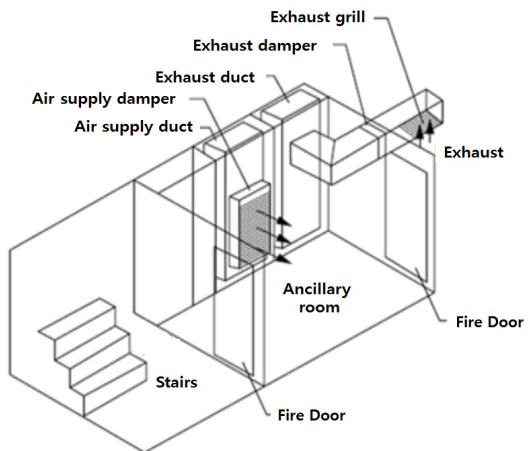
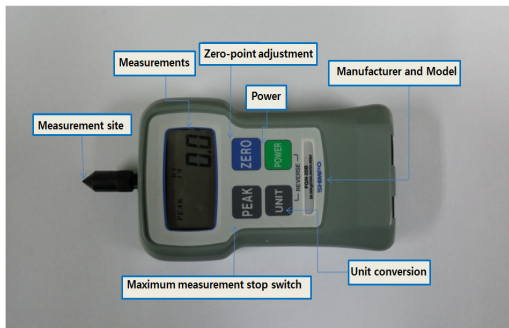


Fig. 2. Conceptual diagram formation of pressure difference (Smoke control of ancillary room)

급기가압 기류의 이동방향은 Fig. 2와 같으며, 기류가 유입되는 부속실은 화재가 발생한 공간과 압력차를 형성하여 연기의 확산을 막을 수 있다[9]. 부속실로 급기가압된 기류는 화재실에서 제연구역으로 이동하는 피난 요

구자의 개방에 반대 방향으로 출입문에 힘을 균일하게 가하여 피난 시 개방 부하를 증가시키지만 제연구역에서 계단으로 이동시에는 출입문에 피난 방향으로 힘을 전달하여 오히려 개방을 용이하게 해 준다. 급기가압 제연구역의 설계를 위한 요소로는 차압, 방연풍속, 자동폐쇄장치 및 도어 클로저의 개방력, 문의 조건 등이 있지만 이를 충분히 반영하고 있지 않아 재실자가 피난이 불가능한 상태가 될 수도 있다[10,11]. 급기가압 제연구역 출입문의 개방력은 이론적으로 계산이 가능하지만 이를 위해서는 우선 자동폐쇄장치나 도어 클로저의 최초 개방력 설정 값을 우선 실측해야 한다. 또한 준공을 위한 정확한 시험, 조정, 균형(TAB; Testing, Adjusting, Balancing)을 위해서는 급기가압 제연설비 가동 후의 차압 및 방연풍속을 고려한 개방력을 모두 측정하여야 가능하다[12].

개방력의 실측은 국가공인교정기관의 시험 및 검증을 받은 Fig. 3의 디지털 측정기(Shimpo Co., FGN-20B, Korea)를 이용하여 측정하였다. 실험이 진행될 때의 환경은 온도 10 °C, 대기압 1 atm, 습도 약 40 % 정도이다. 개방력은 급기가압 제연설비가 가동되기 전과 후의 각 층을 30회씩 측정하였으며, 측정 시 건물 내부의 기류의 안정화를 위해 60 sec 정도의 간격을 유지시켰다.



1. Units of measurement:0.1N/0.11b_r
2. Measure the maximum:200.0N/50.0lb_r

Fig. 3. Door opening force testers (digital)

측정값의 신뢰성 통계 분석은 미니탭 프로그램(Minitab)의 AD(Anderson Darling) 통계 분석 방법을 이용하였다. AD 값이 작을수록 해당 분포가 데이터에 더 적합하다는 것을 나타내며, AD 검정은 경험적 누적 분포 함수를 기초로 한 검정 방법으로 우수한 검정력을 가진다. 또한 분포의 높은 값과 낮은 값 사이에서 정규분포로부터 이탈을 탐지하는데 효과적이다. 검정 통계량은

식(1)을 이용하며, 최종적으로 P값을 계산하여 판정한다.

$$A^2 = -n - \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n (2i-1) [\ln(z_i) + \ln(1-z_{n+1-i})] \quad (1)$$

3. 결과 및 고찰

제연설비 가동 전의 개방력 측정값에 대한 이산분포는 Fig. 4와 같다. 개방력의 평균값은 지하 5층이 43.15 N으로 가장 큰 값을 나타냈고, 지하 1층은 33.47 N으로 가장 작은 값이 측정되었다. 분포차가 가장 큰 층은 지상 2층으로 5.90 N 차이가 발생하였으며, 가장 작은 층은 지하 1층, 지하 4층으로 모두 2.50 N의 차이가 발생하였다. 제연설비 가동 전 개방력의 측정값은 모두 다른 값을 나타내고 있는데 이값은 도어 클로저가 방화문에 부착될 당시의 최초 개방력의 설정 값이라고 할 수 있다. 평균값의 최대값과 최소값이 9.68 N의 차이가 나는 것으로 보아 NFSC 501A의 개방력의 최대 제한 값인 110N과 비교하였을 때 상당한 차이가 있음을 알 수 있다.

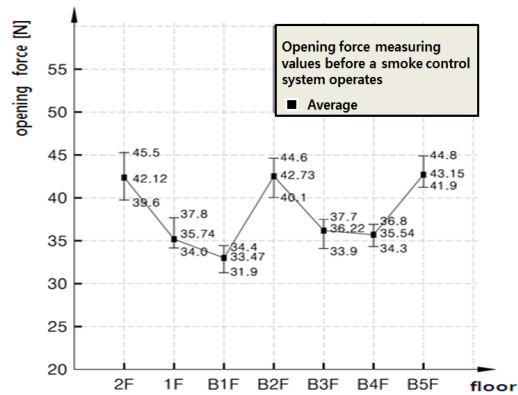


Fig. 4. Distribution chart for opening force measuring values before a smoke control system operates.

제연설비 가동 후의 개방력 측정값에 대한 이산분포는 Fig. 5와 같다. 개방력의 평균값은 지하 2층이 83.17 N으로 가장 큰 값을 나타냈으며, 지하 1층은 40.51 N으로 가장 작은 값이 측정되었다. 분포차가 가장 큰 층은 지상 2층으로 8.10 N이었으며, 가장 작은 층은 지하 1층으로 모두 2.40 N의 차이가 발생하였다. 평균값의 최대값과 최소값은 42.66 N의 차이가 발생하였다. 이는 지하 2층이 피난층으로 개방력을 계단에서 부속실로 나오는 부하를 측정했기 때문으로 판단된다.

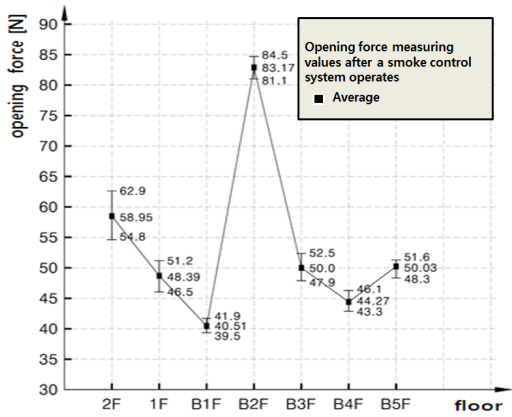
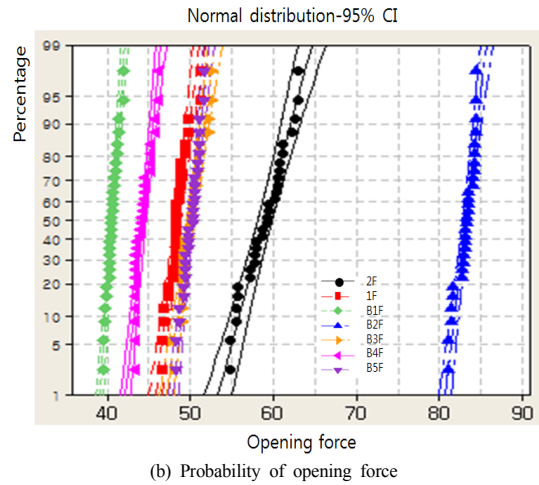
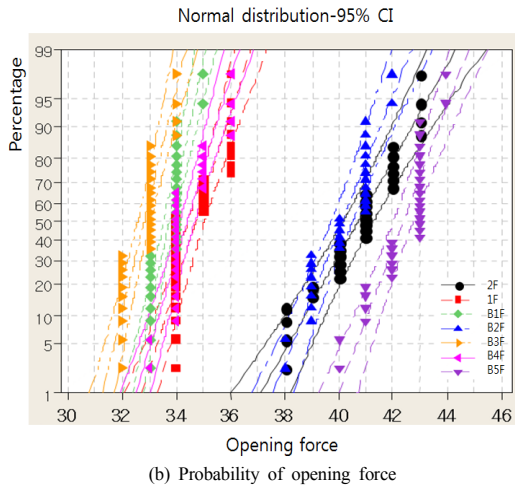
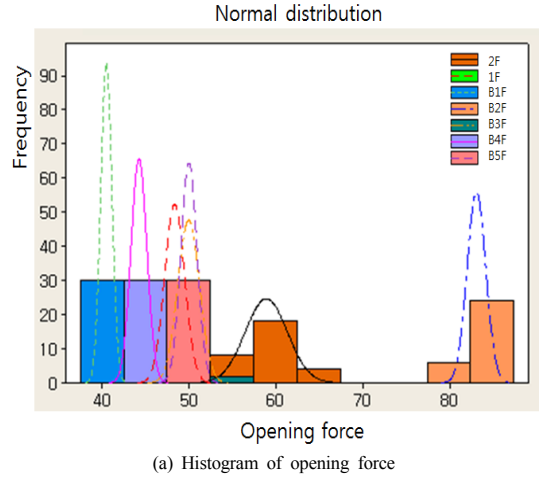
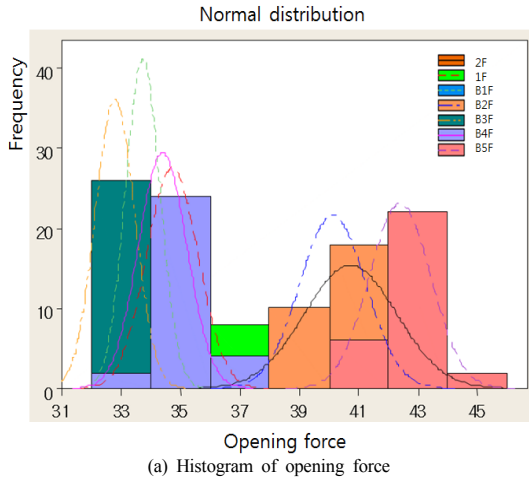


Fig. 5. Distribution chart for opening force measuring values after a smoke control system operates.

mean	Standard Deviation	Sample	AD	P
42.12	1.731	30	0.671	0.072
35.74	1.013	30	0.288	0.594
33.47	0.723	30	1.115	0.005
42.73	1.312	30	0.733	0.050
36.22	1.064	30	0.546	0.147
35.54	0.719	30	0.652	0.080
43.15	0.896	30	0.652	0.080

(c) Table of Anderson-Darling analysis values

Fig. 6. Histogram and probability of opening force measurement values before a smoke control system operates (Access door closed completely)



mean	Standard Deviation	Sample	AD	P
58.95	2.423	30	0.365	0.451
48.39	1.145	30	0.890	0.020
40.51	0.638	30	0.401	0.341
83.17	1.071	30	1.094	0.006
50.12	1.255	30	0.667	0.074
44.27	0.913	30	1.245	<0.005
50.03	0.931	30	0.346	0.458

(c) Table of Anderson-Darling analysis values

Fig. 7. Histogram and probability of opening force measurement values after a smoke control system operates (Access door closed completely)

Fig. 6과 Fig. 7은 개방력 측정값을 AD 분석한 것이다. Fig. 6(a)는 제연설비 작동 전의 개방력을 측정된 값에 대한 정규분포를 히스토그램 형태로 나타낸 것이며, Fig. 6(b)는 개방력을 확률도로 나타낸 것이다. Fig. 6(c)에 AD값은 작을수록 P값이 클수록 특정 분포를 잘 따른다. P값이 0.05 보다 큰 값이 계산되면 데이터는 95% 신뢰성에 유의성이 있다고 볼 수 있으며 일직선에 가까울수록 정규분포에 가깝다고 할 수 있다. Fig. 6(c)를 통해 지상 2층에서 지하 5층까지의 분석 값 중 지상 1층의 AD 값이 0.288이고, P값이 0.594로 가장 정규분포에 잘 따르며 신뢰성 있는 데이터라 볼 수 있다. 모든 층의 P값은 지하 1층을 제외하고는 모두 0.05 이상으로 귀무가설이 적합하여 데이터 포인트가 일직선에 근사해서 전체 데이터의 대표성을 가진다고 볼 수 있다. 95% 신뢰 구간(CI; Confidence Interval)은 예측된 구간 내에 실제의 모평균이 존재할 가능성이 있는 확률이 95%를 의미하고 있다.

Fig. 7(a)는 제연설비 작동 후 개방력 측정값에 대한 히스토그램이다. Fig. 7(b)는 개방력의 확률도를 나타낸 것이다. Fig. 7(c)를 통해 AD 값은 지하 5층이 0.346으로서 데이터의 산포가 작아 정규분포에 가장 적합하다는 것을 알 수 있다. P 값은 지상 1층, 지하 2층, 지하 4층이 0.05 이하로서 귀무가설이 기각되어 데이터의 유의성이 없다고 해석할 수 있다. 그러나 지상 2층, 지하 1층, 지하 3층, 지하 5층은 0.05 이상으로 디지털 측정계에 의한 측정값은 데이터의 대표성을 가진다고 추정할 수 있었다. 그리고 데이터의 산포는 제연설비 가동 전과 후 모두 거의 비슷한 분포가 나타남을 확인할 수 있었다.

4. 결론

급기가압 제연 구역의 정확한 설계를 위해서는 정확하고 신뢰성 있는 개방력을 측정하는 것이 중요하다. 제연설비 가동 전과 후의 개방력을 디지털 측정기를 이용하여 실측한 값을 미니탭 프로그램의 AD 통계분석 방법을 사용하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 급기가압 제연설비 가동 전 개방력의 측정값에 차이가 발생하는 것은 출입문에 설치되는 자동폐쇄장치나 도어 클로저의 초기 개방력 설정 값이 다르다는 것으로 차압 및 방연풍속을 모든 층에 동일한 값을 적용할 경우 다른 개방력을 나타낼 수 있음을 알 수 있었다.
- 2) AD값 분석을 통해 제연설비 작동 전과 후의 층별 분포경향이 유사한 값을 나타낸 것으로 보아 제연설비의 가동여부와는 측정값의 이산분포와 정규분포가 연관성이 없음을 알 수 있었다.
- 3) P값의 경우 95% 신뢰도로 데이터의 대표성을 분석한 결과 일부 층에서는 데이터가 유의하지 못함을 알 수 있었다. 이는 측정 시 계측기에 의한 정확도, 판별력, 기기에러 보다는 휴먼에러에 의한 것으로 판단된다.
- 4) 급기가압 제연설비 출입문의 개방력 측정시에는 동일한 속도와 동일한 자세로 측정하는 표준화된 방법이 필요함을 알 수 있었다.

즉 급기가압 제연설비의 정확하고 신뢰성 있는 공학적 설계를 위해서는 디지털 측정계를 이용하여 표준화된 방법으로 반복 측정하는 것이 측정값의 신뢰도를 고려하였을 때 유의함을 알 수 있었다. 또한 급기가압 제연공간의 출입문의 개방력을 동일하게 시공하기 위해서는 차압 및 방연풍속 뿐만 아니라 출입문의 개방력을 동일하게 설정하고 이를 적용하는 것이 필요함을 알 수 있었다.

References

- [1] J. O. Lee, C. S. Choi, "Study on the Analysis of Differential Pressure of the Access Door for a Smoke Control Zone and the Effectiveness of the Measurement Criteria of its Opening Force", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 26, No. 04, pp. 24-30, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2012.26.4.024>
- [2] J. O. Lee, C. S. Choi, "Study on the Assessment of the

Criteria on a Door Closer for the Optimum Design of the Access Door of a Smoke Control Zone”, Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 27 No. 03, pp. 66-71, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2013.27.3.066>

- [3] Dougal Drysdale, “An Introduction to Fire Dynamics”, Second Edition, Chapter 11, The Production and movement of smoke, pp. 386-401, 2002.
- [4] SFPE, “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”, Third Edition, Section 4, Chapter 12 Smoke Control, Chapter 13 Smoke Management in Covered Malls and Atria, pp. 274-310, 2002.
- [5] J. O. Lee, C. S. Choi, “Verifying the Suitability or Unsuitability of the Opening Force Criteria Applied to Air Pressurized Access Door to a Smoke Control Zone”, Journal of Korean Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 15 No. 09, pp. 5820-5825, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.9.5820>
- [6] NFPA 92A, “Standard for smoke-control system utilizing barriers and pressure differences”, 2009.
- [7] EN 12101-6, “Smoke and heat control systems”, Specification for pressure differential systems, 2005.
- [8] NEMA, National Fire Safety Code, “NFSC 501A of stair cases of specific fire escape stairs and smoke control systems of ancillary rooms”, Administrator at National Emergency Management Agency, 2012.
- [9] Korea Fire Safety Association, “Fire Technician-job training”, 2013.
- [10] Korean Industrial Standard, “KS F 2806 Test methods or checking floor-hinges and door-closers method”, Korean Standards Association, 2005.
- [11] Korean Industrial Standard, “KS F 4505 Door closer”, Korean Standards Association, 2005.
- [12] J. O. Lee, C. S. Choi, “Reliability Analysis of the Access Door Opening Force Measurement Value of a pressurized Smoke Control Zone Using an Analog Force Gauge”, Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 15 No. 03, pp. 1-6, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2015.15.3.1>

최 충 석(Chung-Seog Choi)

[정회원]



- 1993년 2월 : 인하대학교 공과대학 전기공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 인하대학교 공과대학 전기공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 2008년 2월 : 한국 전기안전공사 전기안전연구원 과장 /부장/수석연구원/부원장
- 2008년 3월 ~ 현재 : 전주대학교 소방안전공학과 정교수

<관심분야>

전기설비, 전기화재, 전기안전, 제품안전

이 재 오(Jae-Ou Lee)

[정회원]



- 2009년 8월 : 충남대학교 충남대학 원 토목공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 : 전주대학교 소방안전 공학과 (공학박사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 대전대학교 소방방재학과 교수

<관심분야>

화재, 건축, 재료