

Development of a Pre-prediction Model for Elevator Maintenance Quality and Evaluation of the Influence of Detailed Quality Factors Using Logistic Regression Analysis

Kyung-Min Roh · Kwan-Hee Han[†]

School of Industrial System Engineering, Gyeongsang National University

로지스틱 회귀분석을 이용한 승강기 유지관리품질 사전예측모형 개발 및 세부 품질 인자의 영향력 평가

노경민 · 한관희[†]

경상국립대학교 산업시스템공학과

Approximately 40,000 elevators are installed every year in Korea, and they are used as a convenient means of transportation in daily life. However, the continuous increase in elevators has a social problem of increased safety accidents behind the functional aspect of convenience. There is an emerging need to induce preemptive and active elevator safety management by elevator management entities by strengthening the management of poorly managed elevators. Therefore, this study examines domestic research cases related to the evaluation items of the elevator safety quality rating system conducted in previous studies, and develops a statistical model that can examine the effect of elevator maintenance quality as a result of the safety management of the elevator management entity. We review two types: odds ratio analysis and logistic regression analysis models.

Keywords : Elevator Safety Management Act, Odds Ratio Analysis, Logistic Regression Analysis

1. 서 론

경제의 고도성장과 더불어 승강기 수요도 점차 늘기 시작하면서 승강기 산업이 주요 설비사업으로 부각되었다. 국내에서 매년 설치되는 승강기는 약 4만대로 생활의 편리한 교통수단으로 이용하고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 승강기의 지속적인 증가는 편리함이라는 기능적 측면 이면에 안전사고의 증가라는 사회적 문제를 안고 있다. 최근 승강기안전관리법 개정을 통하여 승강기 검사와 자체점검을 강화하였으나, 승강기 안전사고는 때와 장소를 불문하고 끊임

없이 발생하고 있다[4]. 이렇게 늘어나는 중대사고 및 고장에 대한 대책은 미흡하며 그로 인한 이용자의 불안감 및 사회적 비용 또한 증가하고 있는 것이 현실이다.

승강기 관리주체는 설계수명 등을 고려하여 소모성 부품을 선제적으로 교체하여야 하나, 검사 의 부적합 사항 및 중대사고 발생 이후 사후조치 등 법정 의무사항 이외의 추가 안전개선 노력에 능동적이지 않아 안전관리 수준은 나아지지 않는 것으로 판단되었다[2].

위와 같이 관리가 부실한 승강기에 대한 관리 강화를 통해 승강기 관리주체의 선제적이며 능동적인 승강기 안전관리를 유도하기 위하여 승강기 검사주기를 조정하는 정책의 필요성이 최근 다시 거론되고 있다. 따라서 본 연구는 선행연구에서 진행하였던 승강기 검사주기 조정을

Received 29 November 2023; Finally Revised 14 December 2023;
Accepted 14 December 2023

[†] Corresponding Author : hankh@gnu.ac.kr

위한 안전품질 등급제 평가항목과 관련된 국내 연구사례를 살펴보고, 이 중에서 승강기 관리주체의 안전관리의 결과로서 나타나는 승강기 유지관리품질의 효과를 검토할 수 있는 통계적 모형의 두 가지 유형, 즉 오즈비 분석과 로지스틱회귀분석 모형에 대하여 검토한다. 본 연구에서는 승강기 실제 데이터 약 76만 건을 활용하였고, 두 가지 유형의 통계적 모형의 적용방법 및 가능성에 대한 사례 연구이다.

본 연구의 방법론은 앞으로 실제 데이터를 충분히 수집하고 축적될 경우에 지속적인 효과분석모형을 분석할 수 있는 기반 연구방법론으로 가치가 높다.

2. 이론적 배경과 선행연구

2.1 국내 승강기 안전제도

「승강기 안전관리법」 제28조(승강기의 설치검사)에 따라 승강기의 제조·수입업자는 설치를 끝낸 승강기에 대하여 행정안전부령으로 정하는 바에 따라 설치검사를 받아야 하고, 동법 제32조에 따라 관리주체는 안전검사를 받아야 한다.

동법 시행규칙 제54조(정기검사의 검사주기 등)에 따라 승강기 안전검사 중 정기검사의 경우 설치검사 후 정기적으로 하는 검사로 검사주기는 2년 이하로 하되, 행정안전부령으로 정하는 바에 따라 승강기별로 검사주기를 다르게 할 수 있다.

위에 따라 일반적으로 법 제32조 제1항제1호 각 목 외의 부분에 따른 정기검사의 검사주기는 1년으로 한다.

정밀안전검사의 경우 정기검사 또는 수시검사 결과 결함의 원인이 불명확하여 사고 예방과 안전성 확보를 위하여 필요하다고 인정하는 경우, 중대 사고나 고장이 발생한 승강기 또는 설치검사를 받은 지 15년이 경과된 노후 승강기는 3년마다 정기적으로 정밀안전검사를 받아야 한다.

또한 관리주체의 경우 법 제31조(승강기의 자체점검)에 따라 승강기의 안전에 관한 자체점검을 월 1회 이상 실시하고, 그 결과를 승강기안전종합정보망에 입력하여야 하며 승강기의 사고로 승강기 이용자 등 다른 사람의 생명·신체 또는 재산상의 손해를 발생하게 하는 경우 그 손해에 대한 배상을 보장하기 위한 보험에 가입하여야 한다.

본 연구에서는 관리주체, 유지관리업체 등의 승강기 안전개선 노력을 유도하기 위하여 안전관리가 비교적 잘 이루어지지 못하고 있다고 판단되는 승강기에 대해서 매 1년 실시하는 정기검사주기를 6개월 등으로 차등(유예)하고자 하였다.

이를 위해서는 매 1년 진행하는 안전검사 중 정기검사

를 승강기 안전관리법 시행규칙 개정 등을 통해 검사주기를 조정할 수 있도록 하는 법률 개정이 선제적으로 필요하다.

2.2 승강기 안전품질 등급제 선행연구

승강기의 안전품질을 제고하기 위한 승강기 안전품질 등급제 도입을 위한 연구가 다수 진행되었다.

선행연구 중 산업자원부에서 2002년에 연구한 ‘승강기 안전관리 등급제’는 시설부문, 유지관리품질, 검사이력, 운행상태, 부가사항 등 5개 부문 30개 평가항목에 의해 조사, 1,000점 만점으로 점수화하고 3단계로 등급화 하였다[6].

한국승강기안전공단에서 2010년에 연구한 ‘승강기 검사주기 차등적용 방안 마련 연구’는 시설 및 환경, 검사이력, 운행 상태, 유지관리 품질, 법령 위반, 부가사항으로 구성하고 안전평가결과(총점 1,000점)에 따라 승강기 정기검사 주기를 구분하였다.

안전행정부에서 2014년에 연구한 ‘승강기 안전관리상태 평가’는 시설 및 환경, 검사 이력, 운행 상태, 유지관리 품질, 법령 위반, 부가사항으로 구성하고 배점(총점 800점)에 따라 승강기 정기검사 주기를 구분하였다[5].

Roh and Han[7]은 전문가 의견수렴을 통하여 안전품질 등급제 핵심항목을 선정하고 AHP기법을 이용하여 중요도를 평가하여 <Table 1>과 같은 평가항목 및 배점을 부여하였다.

<Table 1> The Evaluation Factors and Score of Elevator Safety Quality Rating

| Criteria | Evaluation factor | Score | Note |
|----------------------------|--|-------|----------------------------------|
| Facilities and Environment | Building Use | 100 | |
| | Age of elevator use | 350 | |
| Maintenance quality | Regular inspection results for the last 3 years | 400 | |
| | Self-examination results over the past year | 250 | |
| | Serious accidents and breakdowns in the last 3 years | 300 | |
| Managing body | Maintenance contract type | 100 | *Additional points if applicable |
| Maintenance company | Business entities with excellent maintenance quality | 100 | *Additional points if applicable |
| | Operation of comprehensive monitoring system | 100 | |
| Total | | 1600 | |

본 연구에서는 2022년 Roh and Han[7]의 선행연구에서 대분류 항목으로 분류하였던 ‘승강기 유지관리품질’이 관리주체와 유지보수업자의 직접적인 관리상태를 의미하고 있으므로 이를 종속변수로 두고 승강기 기본 제원을 독립변수로 설정하여 관련 효과를 검토할 수 있는 통계적 모형을 확보하고 분석해 보고자 하였다.

이를 통해 승강기 품질등급에 영향을 주는 다양한 요인에 대하여 분석하고 동시에 승강기 안전 향상을 위해 고려해야 할 점을 제시하고자 한다.

3. 모형 적용을 위한 데이터 활용

3.1 개요

본 연구는 국가승강기정보센터의 실 제원 데이터 약 76만건을 기반으로 효과분석 모형 적용 연구를 진행하였다. 종속변수로 사용된 ‘승강기 유지관리품질’은 승강기 관리주체의 안전관리 결과로서 나타나는 ‘정기검사결과’, ‘자체점검결과’ 그리고 ‘중대사고·중대고장’의 발생 여부로 이루어져 있다.

‘정기검사’의 경우 『승강기 안전관리법』제32조제1항 및 동법 시행규칙 제54조에 따라 매년 정기검사를 수행하고 『승강기 설치검사 및 안전검사에 관한 운영규정』제12조에 따라 안전검사기준에 맞는 경우에는 합격 맞지 않는 경우에는 불합격 그리고 그 사항이 경미한 경우 조건부합격 판정을 하도록 되어있다.

‘자체점검’의 경우 『승강기 안전관리법』제31조에 따라 관리주체는 월1회 이상 자체점검을 실시하고 그 결과를 승강기안전종합정보망에 입력하도록 되어있다. 또한 자체점검자는 『승강기 안전운영 및 관리에 관한 운영규정』제13조에 따라 자체점검기준에 적합한 경우는 양호 그 외의 이상이 발생한 경우 관리주체에게 보고하고 승강기안전종합정보망에 입력해야 한다.

‘중대한 사고 및 중대한 고장’의 경우 『승강기 안전관리법』제48조 및 동법 시행령 제37조에 따라 구분하고 있으며 발생 시 동법 시행규칙 제69조에 따라 중대한 사고 또는 중대한 고장이 발생한 경우에는 고장에 관한 자료를 보존하고 지체없이 공단에 알려야 한다.

3.2 데이터 전처리

승강기 제원의 다양한 데이터는 수치데이터와 더불어 문자형(범주형)데이터를 포함하기 때문에, 이를 수치로 치환하는 과정이 필수적이다. 예를 들어, ‘속도’ 항목은 ‘고

속’과 ‘중저속’으로 나뉘는데 이를 각각 ‘1’과 ‘0’으로 치환할 수 있다. 다른 범주형 변수도 더미변수로 코딩하여 처리하였다.

종속변수는 선행연구 평가항목 중 ‘승강기 유지관리품질’로 주의등급(1)과 그 외 등급(0)으로 분리하였다. 종속변수 ‘승강기 유지관리품질’의 ‘주의등급’으로 구분하기 위하여 안전검사 및 자체점검에 이상이 있거나 중대한 사고 중대한 고장이 발생하였을 경우를 ‘1’로 치환하였다.

‘최근 3년간 정기검사결과’의 경우 ‘조건부합격’ 및 ‘불합격’, ‘최근 1년간 자체점검 결과’의 경우 ‘이상’, ‘최근 3년간 중대사고·중대고장’의 경우 사고가 발생하거나 중대고장이 ‘발생’한 경우에 ‘주의등급’인 ‘1’로 치환하였다.

따라서 1보다 오즈비가 클 경우 ‘승강기 유지관리품질’이 상대적으로 낮아 이상이 생기거나 사고 및 고장이 발생할 확률이 크다고 볼 수 있겠다.

독립변수는 선행연구 평가항목 중 ‘승강기 시설 및 환경(건물용도 및 사용년수)’ 및 ‘승강기관리주체(유지관리계약유형)’ 그리고 ‘유지관리업체(우수 유지관리업체 여부 및 원격관리기능 여부)’를 활용하였으며 더불어 추가적인 제원 사항으로 ‘승강기용도’, ‘층수’, ‘속도’, ‘미신청 여부’, ‘하도급 여부’를 독립변수로 활용하였다.

3.3 분석 데이터

국내 승강기 약 76만 건(760,220대) 데이터의 분포 현황은 다음과 같다.

대부분이 승객용 엘리베이터(88.8%)이며, 화물용 엘리베이터는 5.7%, 에스컬레이터·무빙워크는 4.9%, 휠체어리프트는 0.6%를 차지하였다. 운행 층수별로 5층이하 34.7%, 6~10층은 20.3%, 16층~25층은 21%를 차지하였다. 사용연수별로는 장기사용 승강기로 분류되는 15년 이상 승강기가 30.1%를 차지하고 있었으며 6개월에 한번 검사를 받아야 하는 25년 이상 승강기도 5.6% 분포되어 있었다. 최근 3년간 중대한 고장 발생율은 약 5%이며 중대한 사고 발생율은 약 0.1%로 극히 미미하다. 최근 3년간 정기검사 결과에 대한 불합격 및 조건부 합격률은 19%~29%이며 자체점검 이상 발생율은 약 19%이다. 그 자료는 다음 <Table 2>와 같다.

본 연구에서는 본 자료에 대하여 오즈비 분석과 로지스틱 회귀모형을 적용하여 보았다. 이를 위하여 통계분석도구로 SPSS 22 버전을 사용하였으며, 자료의 통계적 유의수준을 $P < 0.05$ 에서 검증하였다.

<Table 2> Elevator Data Statistics

| Criteria | Sum | Average | |
|--|------------|------------|----------------|
| | Statistics | Statistics | Standard error |
| Serious accidents in the last 3 years | 42443 | .0558 | .00026 |
| Serious breakdowns in the last 3 years | 567 | .0007 | .00003 |
| Regular inspection results_2019 | 220889 | .2906 | .00052 |
| Regular inspection results_2020 | 177979 | .2341 | .00049 |
| Regular inspection results_2021 | 149485 | .1966 | .00046 |
| Self-examination results_2021 | 144760 | .1904 | .00045 |

4. 승강기 유지관리품질 사전예측모형

4.1 로지스틱 회귀모형 설명

로지스틱 회귀모형은 하나의 범주형 종속변수와 한 개 이상의 독립변수 사이의 관계를 표현하기 위한 모형이다. 본 연구와 같이 ‘승강기 유지관리품질’에 미치는 정량적 효과를 분석하기 위해 건물용도, 사용년수 포함하는 승강기 시설 및 환경 등 그 외 공변량들을 독립변수로 고려하고, 그룹 간 존재하는 다양한 요인을 사후 보정하는 분석 방법이다. 일반적인 선형 회귀분석은 종속변수의 평균이 독립변수에 대한 선형의 결합으로 식 (1)으로 표현된다.

$$E(y | x) = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k \quad (1)$$

여기서 종속변수가 이분형인 경우에 $E(y | x)$ 는 독립변수가 x로 주어진 경우 Y의 이벤트가 발생할 확률을 의미하고 0에서 1사이의 확률값으로 표현되며, ‘승강기 유지관리 품질’ 여부가 이분형 종속변수로 사용된다. 이를 로지스틱으로 선형관계를 변환하면 식 (2)와 같다.

$$Y = \log \frac{P(x)}{1 - P(x)} = \alpha + \beta x_1 \quad (2)$$

$P(x)$ =이벤트 발생 확률, x_i =통제가 필요한 독립변수

로지스틱 회귀모형은 승강기 안전품질 등급제 평가항목 중 대분류 항목 및 중분류 항목으로 구분하여 독립변수 지표로 사용이 가능하며, 추가 승강기 제원도 독립변수 지표로 사용이 가능하다.

4.2 모형 적용 결과

분석에 사용된 종속변수 ‘Y’는 승강기품질등급 항목 중 ‘승강기 유지관리품질’에서 최근3년간 정기검사결과의 조건부합격 및 불합격 여부, 최근 1년간 자체점검 결과에서의 이상 여부, 최근 3년간 중대사고 및 중대고장에서의 발생여부를 ‘주의등급’인 ‘1’로 적용하였다. <Table 3>은 종속변수의 코딩 형태를 나타낸 것이다.

사건 발생 확률이 0.5보다 크면 ‘승강기 유지관리 품질’이 심각(주의등급)할 확률이 높고, 0.5보다 작으면 우수(우수등급)할 확률이 높다.

<Table 3> Coding Type of Dependent Variable

| Dependent variable | Description |
|--------------------|---|
| Y = 1 | Elevator maintenance quality caution grade = Regular inspection results for the past 3 years and Self-inspection results for the past year and Serious accidents and breakdowns in the past 3 years |
| Y = 0 | Other elevators |

독립변수는 선행연구(노경민, 경상대학교, 2022년)에서 분류하였던 승강기안전품질등급 항목 중 건물용도, 사용년수, 원격관리기능 여부, 유지관리계약 여부를 적용하였다. 또한 현재 국가승강기정보센터에 입력된 제원(제조업체, 모델명, 적재하중, 최대정원, 운행층수, 유지관리업체 등)에서 추출할 수 있는 항목 중 승강기 품질에 영향을 줄 수 있는 항목을 검토하여 추가 분류하고자 하였다. 이를 위하여 신뢰성과 객관성을 위해 승강기 실무, 전산, 제도 전문가 등 관련 경력 10년 이상의 실무자를 대상으로 자문을 진행하였으며 검토를 수행한 전문가는 Table 4와 같다.

추가적인 의견으로는 승강기에 부여되는 ‘승강기 번호’로 지역을 나눌 수 있으므로 지역별 ‘승강기 유지관리품질’을 확인하고 제조업체 별 승강기 사고 현황을 고려할 필요가 있다는 의견이 있었다.

<Table 4> Experts Review for Independent Variable

| Review Schedule | n | Dvision |
|---------------------------------|---|----------------------|
| 1st (Computer & System Experts) | 4 | Public institution |
| 2nd (Field Experts) | 3 | Elevator Association |

로지스틱 회귀분석 결과 이분형 종속변수 승강기 유지관리품질 주의등급과 독립변수들이 미치는 영향정도는 다음과 같다.

<Table 5>는 9개 독립변수 모두를 사용한 로지스틱 회귀분석 결과를 보여준다. 회귀분석 결과 정확도는 67.4%

로 추정이 되었으며 계약 내용, 원격관리 여부, 하도급 여부 항목을 제외하였을 때 정확도가 68.6%로 상향되었으므로 보다 효율적 분석을 위하여 해당 항목을 제외하였다. 또한 미신청 여부는 유의수준이 0.05를 초과하므로 해당 항목을 제외하고 회귀모형을 구성하였다. <Table 6>은 상기 4가지 항목을 제외한 로지스틱 회귀분석 결과를 보여준다. <Table 7>은 그 분류표를 보여준다.

다항 로지스틱 회귀분석을 통해 승강기 유지관리품질에는 속도(0.506), 사용년수(1.591), 승강기 용도(1.555)순으로 영향을 주는 것으로 확인되었다.

<Table 5> Logistic Regression Analysis Results 1

| Criteria | B | S.E. | Wald | df | P | Exp(B) |
|----------------------------|-------|------|-----------|----|------|--------|
| Years of use | .368 | .002 | 21746.963 | 1 | .000 | 1.445 |
| Elevator usage | .305 | .007 | 2052.553 | 1 | .000 | 1.357 |
| Building usage | .313 | .021 | 213.742 | 1 | .000 | 1.368 |
| Maintenance contract | -.245 | .009 | 672.496 | 1 | .000 | .783 |
| Remote management function | -.147 | .014 | 117.879 | 1 | .000 | .863 |
| Building floors | .164 | .008 | 421.867 | 1 | .000 | 1.178 |
| Elevator speed | -.524 | .095 | 30.235 | 1 | .000 | .592 |
| Due date | -.006 | .019 | .093 | 1 | .760 | .994 |
| Subcontracting | .065 | .007 | 88.867 | 1 | .000 | 1.067 |
| Constant | -.390 | .104 | 13.938 | 1 | .000 | .677 |

<Table 6> Logistic Regression Analysis Results 2

| Criteria | B | S.E. | Wald | df | P | Exp(B) |
|-----------------|--------|------|-----------|----|------|--------|
| Years of use | .464 | .002 | 53430.051 | 1 | .000 | 1.591 |
| Elevator usage | .442 | .005 | 8560.852 | 1 | .000 | 1.555 |
| Building usage | .363 | .019 | 376.267 | 1 | .000 | 1.438 |
| Building floors | .169 | .007 | 656.124 | 1 | .000 | 1.184 |
| Elevator speed | -.681 | .086 | 62.100 | 1 | .000 | .506 |
| Constant | -1.648 | .088 | 352.306 | 1 | .000 | .192 |

<Table 7> Classification Table

| Observation Frequency | | Predicted Value | | |
|------------------------------|------|------------------------------|--------|-------------------------|
| | | Elevator Maintenance Quality | | Classification Accurate |
| | | .00 | 1.00 | |
| Elevator Maintenance Quality | .00 | 114939 | 164647 | 41.1 |
| | 1.00 | 73891 | 406743 | 84.6 |
| Full Percentage | | | | 68.6 |

본 연구에서 수행한 로지스틱 회귀분석 결과를 통해 관리주체 또는 유지관리업체에서 사고 및 고장을 사전에 예방할 수 있는 사전 진단 예측 모형으로 활용할 수 있을 것으로 판단되며 추정된 회귀식은 (3)과 같다.

$$Y = -1.648(\text{상수}) + (0.464 \times \text{사용년수}) + (0.442 \times \text{승강기용도}) + (0.363 \times \text{빌딩용도}) + (0.169 \times \text{층수}) - (0.681 \times \text{속도}) \quad (3)$$

5. 세부 품질 인자의 영향력 평가

5.1 오즈비 분석

오즈비(Odds Ratio, OR)는 연구자가 관심 있는 변수를 범주화하여 각 그룹에 대한 특성을 설명하는데 유용하게 사용되는 통계량으로, 사례-대조 그룹의 구성단계에서 그룹 간 차이가 나지 않도록 다른 요인을 사전에 통제하여 특정기술에 대한 효과분석이 가능한 방법이다[1]. 오즈(Odds)란 처리그룹에서의 사건발생 확률이 그렇지 않을 확률의 몇 배가 되는가의 값이며, 그 식은 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} \text{오즈} &= \frac{P(\text{사건발생} | \text{처리그룹})}{P(\text{사건미발생} | \text{처리그룹})} \\ &\approx \frac{\text{처리그룹사건발생건수}}{\text{처리그룹사건미발생건수}} \end{aligned} \quad (4)$$

오즈비는 <Table 2>와 같이 특정한 처리(Treatment)를 한 처리(사례)그룹과 그렇지 않은 통제(대조)그룹의 오즈(Odds)의 비율로 그 식은 식 (5)와 같다.

$$\text{오즈비} = \frac{\frac{P(\text{사건발생} | \text{처리그룹})}{P(\text{사건미발생} | \text{처리그룹})}}{\frac{P(\text{사건발생} | \text{통제그룹})}{P(\text{사건미발생} | \text{통제그룹})}} = \frac{a/b}{c/d} \quad (5)$$

이러한 오즈비 분석을 통하여 여러 다양한 평가항목이 ‘승강기 유지관리품질’에 미치는 상대적 영향력을 평가할 수 있다.

승강기 실제 데이터 약 76만 건을 획득하여 1) 승강기 안전품질등급 항목 중 사용년수, 건물용도, 유지관리계약유형, 원격관리기능 여부에 따라 구분하고, 2) 국가승강기정보센터에서 추가로 얻을 수 있는 제원으로 승강기용도, 층수, 속도, 미신청 여부, 하도급 여부를 분류하였다.

더불어 상기 총 9개의 독립변수를 주요 품질인자로 두고 각 주요 품질 인자 마다 범주를 나눌 수 있으므로 다양한 세부 품질 인자가 승강기 유지관리품질에 미치는 영향

력을 평가하고 인과성 추론이 가능하도록 하였다. 그 분류 내용은 <Table 8>과 같다.

<Table 8> Main Quality Factors and Detailed Quality Factors

| Main quality factors | Detailed quality factors |
|----------------------------|-------------------------------------|
| Years of use | 1 to 5 years |
| | 6 to 10 years |
| | 11 to 15 years |
| | More than 16 years |
| Building usage | Automobile-related facilities |
| | Industrial facilities |
| | Telecommunication facilities |
| | Cultural assembly facilities |
| | Business facilities |
| | Education and welfare facilities |
| | Neighborhood living facilities |
| | Residential business facilities |
| | Other facilities |
| Elevator usage | Passenger elevator |
| | Escalator |
| | Moving walk |
| | Wheelchair lift |
| | Freight elevator |
| Maintenance contract | FM Contract |
| | POG Contract |
| Remote management function | Applicable |
| | Not applicable |
| Building floors | 5th floor or lower |
| | 6th to 10th floors |
| | 11th to 15th floors |
| | 16th to 25th floors |
| | 26th to 30th floors |
| | More than 30th floor |
| Elevator speed | High speed |
| | Low speed |
| Due date | Application within the deadline |
| | Non-application within the deadline |
| Subcontracting | Illegal Subcontracting |
| | Not applicable |

5.2 세부 품질 인자의 오즈비 분석 결과

각 항목 중 범주가 여러 개인 경우 ‘승강기 유지관리품질(이하 유지관리품질)’에 미치는 효과를 확인하기 위하여 오즈비 분석을 기본 범주를 두어 수행하였다. 다만, 원격관리기능 여부의 경우 유의 수준이 0.05를 초과하여 본 연구에서는 그 결과 해석을 제외하였다.

- 1) 사용년수의 경우, 데이터 전처리를 설치된 후 최초 설치일로부터 1년~5년을 ‘1’, 6년~10년을 ‘2’, 10년~15년을 ‘3’, 16년 이상을 ‘4’로 치환하였다.

최초 설치일로부터 1년~5년의 승강기는 기준범주(16년차 이상)와 비교하여 0.292로 상대적으로 ‘유지관리품질’이 약 3.4배 정도 좋았으며 이후 설치년수가 지날수록 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

다른 분야의 기계·설비와 마찬가지로 승강기 역시 사용연수가 증가(노후화)됨에 따라 사고·고장 발생 및 각종 안전검사 결과의 조건부합격·불합격률이 증가하며, 따라서 승강기 사용연수는 승강기 안전품질과 매우 밀접한 상관관계가 있다.

『승강기안전관리법』제32조제1항3호다목에 따라 설치검사를 받은 날부터 15년이 지난 승강기는 장기사용 승강기로 정밀안전검사를 받고 있다.

<Table 9> Odds Ratio Analysis for Years of Use

| Criteria | B | S.E. | Wald | df | P | Exp(B) |
|----------------|--------|------|-----------|----|------|--------|
| 1 to 5 years | -1.233 | .007 | 32015.300 | 1 | .000 | .292 |
| 6 to 10 years | -.198 | .008 | 682.144 | 1 | .000 | .821 |
| 11 to 15 years | -.119 | .015 | 65.533 | 1 | .000 | .888 |

- 2) 건물용도의 경우, 주거업무시설군(기준 범주)에 비하여 근린생활시설군(1.054)이 상대적으로 열악한 품질환경을 보여주었다. 반면, 자동차관련시설군(0.712), 산업등시설군(0.701), 전기통신시설군(0.795)의 설치된 승강기는 품질이 상대적으로 우수하였다.

다만, 영업시설군은 유의수준이 0.067로 0.05보다 크므로 해석에서 제외하였다.

근린생활시설군의 경우 건축법에 따른 제1종 근린생활시설과 제2종 근린생활시설에 해당하는 시설물로서 앞으로 관리주체 및 유지보수업체의 더욱 각별한 관리가 필요하다고 판단된다.

<Table 10> Odds Ratio Analysis for Building Usage

| Criteria | B | S.E. | Wald | df | P | Exp(B) |
|----------------------------------|--------|------|----------|----|------|--------|
| Automobile-related facilities | -.339 | .034 | 100.225 | 1 | .000 | .712 |
| Industrial facilities | -.356 | .010 | 1399.379 | 1 | .000 | .701 |
| Telecommunication facilities | -.229 | .062 | 13.654 | 1 | .000 | .795 |
| Cultural assembly facilities | -.175 | .016 | 125.752 | 1 | .000 | .839 |
| Business facilities | .018 | .010 | 3.344 | 1 | .067 | 1.018 |
| Education and welfare facilities | -.115 | .009 | 153.645 | 1 | .000 | .891 |
| Neighborhood living facilities | .053 | .007 | 59.006 | 1 | .000 | 1.054 |
| Other facilities | -1.146 | .105 | 120.149 | 1 | .000 | .318 |

3) 승강기 용도의 경우, 승객용엘리베이터를 기준 범주로 하여 비교하였다. 무빙워크(1.076), 승객용엘리베이터(1), 에스컬레이터(0.799) 순으로 열악한 품질환경을 보여주었다.

<Table 11> Odds Ratio Analysis for Elevator Usage

| Criteria | B | S.E. | Wald | df | P | Exp(B) |
|------------------|--------|------|----------|----|------|--------|
| Escalator | -.225 | .012 | 326.140 | 1 | .000 | .799 |
| Moving walk | .073 | .029 | 6.354 | 1 | .012 | 1.076 |
| Wheelchair lift | -1.375 | .035 | 1562.578 | 1 | .000 | .253 |
| freight elevator | -.655 | .010 | 3947.537 | 1 | .000 | .520 |

상기 건물용도 및 승강기 용도의 분석내용으로 보았을 때 영업시설군(마트)의 무빙워크는 ‘유지관리품질’이 상대적으로 매우 떨어지는 것으로 확인할 수 있다. 실제 무빙워크에서 미끄러짐, 끼임 등 다양한 사고가 지속적으로 발생하고 있으며 중점 안전관리 대상이다[3].

4) 계약유형에 따른 분석항목별 영향도를 분석해 보면 책임유지관리계약(FM)을 할 경우 Exp(B) 점수가 0.715로 단순유지관리계약(POG)보다 1.491배 정도 ‘유지관리품질’이 높을 가능성이 있다는 것을 확인할 수 있다.

승강기 유지관리계약은 단순유지관리계약(POG, Parts, Oil & Grease)과 책임유지관리계약(FM, Full Management)으로 나뉜다. 단순유지관리계약은 승강기 유지관리 계약에 있어서는 가장 낮은 단계의 계약 형태로 정기점검 및 고장대응까지만 포함하며 책임유지관리계약의 경우 종합적으로 모든 영역을 관리한다는 의미로 부품 및 수리, 통신킴, 정기검사비까지 포함하고 있다. 일반적으로 책임유지관리계약은 단순유지관리계약금액의 약 2배 정도가 책정된다.

<Table 12> Odds Ratio Analysis for Maintenance Contract

| Criteria | B | S.E. | Wald | df | P | Exp(B) |
|-------------|-------|------|----------|----|-------|--------|
| FM Contract | -.335 | .009 | 1409.239 | 1 | 0.000 | .715 |

5) 층수의 경우, 5층 이하의 건물 그리고 6~10층, 11~15층, 16~25층, 26~30층, 30층 초과(기준 범주)로 구분하여 로지스틱 회귀분석을 실시하여 영향도를 비교 분석하였다. 5층 이하의 경우 Exp(B) 점수가 1.054로 1보다 크기 때문에 기준 범주인 30층 이상의 건물 다음으로 우수한 품질을 받을 가능성이 높다. 「건축법 시행령」제89조에 따라 6층 이상으로서 연면적

2,000m² 이상인 건축물을 건축하려면 승용 승강기를 의무적으로 설치해야 하고 주택건설기준 등에 관한규정 제15조제1항에 따라 6층 이상 공동주택에는 승강기를 의무설치해야 한다.

다만 요즘 추세는 5층 이하 건물이라 할지라도 건설사 또는 건물주는 입주의 편의성을 제고하고 건물가격을 높이기 위하여 승강기를 설치하고 있다.

5층 이하 승강기가 증가 추세에 있으며 총 승강기 76만 대 중 240,894대로 전체 승강기의 34.7%를 차지하고 있다.

본 분석을 통하여 건축법에 따른 의무설치 승강기가 아닌 층수 5층 이하의 승강기도 비교적 잘 관리되고 있음을 확인할 수 있다.

다만, 주거시설인 아파트의 일반적인 층수가 6~10층(1.594), 11~15층(1.579), 16~25층(1.406)으로 상대적으로 ‘유지관리품질’이 매우 낮다고 볼 수 있다.

또한 위 건물용도에서도 아파트를 포함한 주거업무시설군이 상대적으로 ‘유지관리품질’이 낮음을 확인할 수 있다. 따라서 아파트를 포함한 주거업무시설군도 앞으로 관리주체 및 유지보수업체의 더욱 각별한 관리가 필요하다고 판단된다.

<Table 13> Odds Ratio Analysis for Building Floors

| Criteria | B | S.E. | Wald | df | P | Exp(B) |
|---------------------|------|------|---------|----|------|--------|
| 5th floor or lower | .053 | .015 | 11.675 | 1 | .001 | 1.054 |
| 6th to 10th floors | .466 | .016 | 852.190 | 1 | .000 | 1.594 |
| 11th to 15th floors | .457 | .016 | 804.049 | 1 | .000 | 1.579 |
| 16th to 25th floors | .341 | .016 | 460.316 | 1 | .000 | 1.406 |
| 26th to 30th floors | .104 | .020 | 27.983 | 1 | .000 | 1.110 |

6) 속도의 경우 「승강기 안전관리법 시행령」제33조제2호에 따라 고속(초당 4미터 초과)과 중저속(초당 4미터 이하)으로 구분되며 영향도를 비교 분석해 보았을 때 Exp(B) 점수가 0.520으로 고속(기준 범주)인 경우 중저속보다 1.766배 정도 ‘유지관리품질’이 우수할 가능성이 높다.

통상적으로 고층건물에 설치되는 고속 승강기의 경우 법적으로 유지관리업체 기술자격을 상향하는 등의 조치를 통해 보다 엄격하게 관리되고 있기 때문으로 해석된다.

<Table 14> Odds Ratio Analysis for Elevator Speed

| Criteria | B | S.E. | Wald | df | P | Exp(B) |
|------------|-------|------|--------|----|------|--------|
| High Speed | -.653 | .083 | 61.407 | 1 | .000 | .520 |

7) 신청기한 내 접수되지 않는 승강기의 경우 분석 내용과 같이 Exp(B) 값이 0.896으로 1보다 낮으므로 신청기한 내 접수되는 승강기가 접수되지 않는 미신청 승강기보다 ‘유지관리품질’이 1.312배 정도 ‘유지관리품질’이 높을 가능성이 있다.

승강기 검사는 『승강기 설치검사 및 안전검사에 관한 운영규정』 제9조1항에 따라 안내를 받은 날부터 정기검사의 검사 주기 도래일 30일 이전까지 안전검사를 신청해야 한다. 신청기한이 지나서 접수하는 것은 관리가 제대로 되지 않는다는 것을 방증하는 것으로 볼 수 있다.

<Table 15> Odds Ratio Analysis for Elevators Whose Regular Inspection Period has Expired

| Criteria | B | S.E. | Wald | df | P | Exp(B) |
|-------------|-------|------|--------|----|------|--------|
| Application | -.110 | .015 | 53.779 | 1 | .000 | .896 |

8) 하도급의 경우 영향도 분석에 따라 부분 하도급의 경우라 할지라도 분석 내용과 같이 Exp(B) 값이 1.086로 1보다 높으므로 하도급의 경우 ‘유지관리품질’이 그렇지 않은 경우보다 상대적으로 낮을 수 있음을 확인할 수 있다.

승강기 유지관리업무는 법적으로 하도급과 공동도급계약으로 구분하고 있으며 하도급의 경우 하수급인이 수급인으로부터 공사를 위탁받고 하수급인과 발주자 사이에는 아무런 직접적 위탁관계가 성립되지 않는다. 따라서 유지관리업무 전부를 일괄 하도급하여 유지관리 부실이 초래될 우려가 있다고 판단하고 일정 비율을 제한하여 일괄하도급을 금지하고 있다.

<Table 16> Odds Ratio Analysis for Subcontracting

| Criteria | B | S.E. | Wald | df | P | Exp(B) |
|------------------------|------|------|---------|----|------|--------|
| Illegal subcontracting | .082 | .006 | 164.917 | 1 | .000 | 1.086 |

6. 결론

6.1 두 모형의 활용 가능성

본 연구에서 승강기 안전 품질 등급에 대한 기존 선행연구 사례를 살펴보았다. 그 결과 선행연구들은 승강기 안전품질 등급제 도입을 위한 평가 항목만을 제시했다면 본 연구에서는 실 제원 데이터 76만 건을 활용하여 통계적 방법론을 적용하였다. 특히 분류된 항목 중 승강기 유지관리품질에 영향을 주는 인자를 확인하고 그 활용 가능성을 모색하여 보았고 그 결과 로지스틱 회귀분석을 통하여 사

전 진단 예측 모형을 개발하였으며 오즈비 분석을 통하여 인과관계를 승강기 제도 관점에서 분석하고 승강기 안전향상을 위해 고려해야 할 점을 제시하고자 하였다.

로지스틱회귀모형의 경우 다양한 독립변수를 추가하거나 변화도를 확인하여 상호 연관성이 있는 독립변수간의 관계성을 고려한 승강기 유지관리품질 분석이 가능한 모형이다. 이에 비해 오즈비 분석의 경우 안전도에 대한 지표(승강기 유지관리품질)를 기반으로 상대적 위험도 분석을 통하여 상대적 유지관리품질에 대한 분석이 가능하다. 본 연구에서는 로지스틱회귀모형이나 오즈비 분석으로 승강기 유지관리품질을 추정하고 해당 인자에 대한 상대적 영향력 판단이 가능함을 확인하였다.

6.2 영향력 분석

본 연구에서는 실제 설치된 승강기 약 76만 건의 데이터를 확보하여 이를 기반으로 ‘승강기 유지관리품질’ 분석을 수행하였다. 기존 다양한 연구에서 널리 활용되고 있는 로지스틱회귀모형과 오즈비 분석법을 통하여 다양한 독립변수에 대한 사례연구를 진행하였다.

로지스틱 회귀분석통을 실시한 결과 미신청 승강기 항목을 제외한 모든 항목에서 유의수준인 p-값이 0.05보다 작으므로 ‘승강기 유지관리품질’에 유의한 영향을 미치며, 회귀계수 부호를 통해 사용년수 항목의 점수 등이 증가할수록 ‘주의’ 품질등급을 받을 확률이 높아지는 것을 확인하였다.

본 연구에서 제시한 로지스틱 회귀모형으로 관리주체 또는 유지관리업체는 사고 및 고장을 사전에 예방할 수 있는 사전 진단 예측 모형으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

다만, 사전 진단 예측 모형에서 현재 제시한 예측률(68.6%)을 가지고 관리주체 또는 유지관리업체에서의 실질적인 활용 여부에 대해서는 추가 연구가 필요하다.

또한 오즈비 분석 결과에 따른 인과관계를 승강기 제도 관점에서 분석하여 정책적 시사점을 찾을 수 있는지 시도하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 사용년수의 경우, 최초 설치일로부터 1년~5년의 승강기는 기준범주(16년차 이상)와 비교하여 0.292로 상대적으로 ‘승강기 유지관리품질’이 약 3.4배 정도 좋았으며 이후 설치년수가 지날수록 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

다른 분야의 기계·설비와 마찬가지로 승강기 역시 사용연수가 증가(노후화)됨에 따라 사고·고장 발생 및 각종 안전검사 결과의 조건부합격·불합격률이 증가함을 확인할 수 있다.

둘째, 건물용도의 경우, 주거업무시설군(기준 범주)에

비하여 근린생활시설군(1.054)이 상대적으로 열악한 품질 환경을 보여주었다. 반면, 자동차관련시설군(0.712), 산업 등시설군(0.701), 전기통신시설군(0.795)의 설치된 승강기는 품질이 상대적으로 우수하였다.

셋째, 계약유형에 따른 분석항목별 영향도를 분석해 보면 책임유지관리계약(FM)을 할 경우 Exp(B) 점수가 0.715로 단순유지관리계약(POG)보다 1.491배 정도 ‘유지관리품질’이 높을 가능성이 있다는 것을 확인할 수 있다.

넷째, 승강기 용도의 경우, 승객용엘리베이터를 기준 범주로 하여 비교하였다. 무빙워크(1.076), 승객용엘리베이터(1), 에스컬레이터(0.799) 순으로 열악한 품질환경을 보여주었다.

다섯째, 층수의 경우, 총 승강기의 약 35%를 차지하는 5층 이하 승강기(비 의무설치 승강기)의 경우 Exp(B) 점수가 1.054로 확인되었으며 따라서 기준범주인 30층 이상의 건물을 제외하고는 우수한 품질을 유지하고 있음을 확인할 수 있다.

여섯째, ‘속도’의 경우 「승강기 안전관리법 시행령」제33조제2호에 따라 고속(초당 4미터 초과)과 중저속(초당 4미터 이하)으로 구분되며 영향도를 비교 분석해 보았을 때 Exp(B) 점수가 1.419로 고속인 경우 중저속보다 1.419배 정도 ‘우수’ 품질등급을 받을 가능성이 높다. 통상적으로 고층건물에 설치되는 고속 승강기의 경우 법적으로 유지관리업체 기술자격을 상향하는 등의 조치를 통해 보다 엄격하게 관리되고 있기 때문으로 해석된다.

일곱째, 신청기한 내 접수되지 않는 승강기의 경우 분석 내용과 같이 Exp(B) 값이 0.896으로 1보다 낮으므로 신청기한 내 접수되는 승강기가 접수되지 않는 미신청 승강기보다 ‘유지관리품질’이 1.312배 정도 ‘유지관리품질’이 높을 가능성이 있다.

여덟째, 하도급의 경우 영향도 분석에 따라 부분 하도급의 경우라 할지라도 분석 내용과 같이 Exp(B) 값이 1.086로 1보다 높으므로 불법 하도급의 경우 ‘유지관리품질’이 그렇지 않은 경우보다 상대적으로 낮을 수 있음을 확인할 수 있다.

이와 같이 향후 표준화된 분석방법론의 정립, 지속적인 검증 및 모형의 피드백을 통하여 승강기 안전제도 및 안전기술의 효과분석이 가능할 것으로 보인다.

6.3 승강기 안전제도 활용 방안

승강기 유지관리품질에 관한 로지스틱 회귀분석을 통하여 각기 다른 독립변수에 대한 연관성을 확인하고 품질(안

전성)을 확보하기 위한 내용을 확인하여 보았다. 이를 통하여 이용자 안전을 확보하기 위하여 정기검사 주기를 줄이는 방안(6개월 마다 안전검사)도 논의가 필요해 보인다.

본 연구에서 제시된 평가모형과 사례적용으로 얻은 결과는 승강기품질평가에 실질적으로 사용되어 검사주기 차등화에 유용하게 사용될 수 있을 것이며, 승강기 ‘우수’ 품질등급을 받기 위한 관리주체의 노력이 뒷받침된다면 승강기 품질은 향상되어 이용자 안전을 강화할 수 있을 것으로 판단된다. 앞으로 평가모형을 더욱 발전시켜 본 사업뿐만 아니라 유사한 사업에도 활용될 수 있기를 바란다.

References

- [1] Jang J.A., A Study on the Effect Evaluation Methodology of KNCAP Using Logistic Regression Model and Odds Ratio Analysis, *Journal of Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, 2019, Vol. 27, No. 8, pp. 637-643.
- [2] Kim, B.S. and Park, P., Derivation of Safety Management Implications through Analysis of Major Elevator Failures, *Journal of the Korea Safety Management & Science*, 2020. Vol. 22 No.3, pp. 23-29.
- [3] Korea Elevator Safety Agency, Elevator Accident Case Book, 2023.
- [4] Korea Elevator Safety Agency, <https://home.koelsa.or.kr/>
- [5] Ministry of Public Safety and Security, <https://www.law.go.kr/admRulSc.do?menuId=5&subMenuId=43&tabMenuId=193&query=%EC%8A%B9%EA%B0%95%EA%B8%B0#AJAX>, 2014.
- [6] Ministry of Trade, Industry and Energy, http://www.motie.go.kr/motie/ne/rt/press/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=3961&bbs_cd_n=16, 2002.
- [7] Roh, K.M. and Han, K.H., Determination of Key Factors and Evaluation of Their Importance in the Elevator Safety Quality Rating System for the Purpose of Adjusting the Elevator Inspection Cycle, *Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering*, 2022, Vol. 45, No. 4, pp. 70-78.

ORCID

Kyung Min Roh + <https://orcid.org/0000-0003-3407-2021>
Kwan Hee Han | <https://orcid.org/0000-0001-7998-4951>