쌍대비교행렬 분석 기법을 적용한 스마트 자동 인상 시스템의 성능 분석

김 성 조¹·지 용 수²·김 봉 식³·한 동 석^{4†}

¹연세대학교 건설환경공학과 박사과정, ²(주)펜타드 대표이사, ³(주)펜타드 연구소장, ⁴연세대학교 건설환경공학과 교수

Performance Analysis of Smart Automatic Jack-Up System Using the Pairwise Comparison Matrix Analysis Method

Sung-Jo Kim¹, Yongsoo Ji², Bongsik Kim³ and Tong-Seok Han^{4†}

¹Graduate Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul, 03722, Korea

²Chief Executive Officer, Pentad Inc., Bucheon, 14424, Korea

³Research Director, Pentad Inc., Bucheon, 14424, Korea

⁴Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul, 03722, Korea

Abstract

In this study, a smart jack-up system was developed to prevent safety accidents by performing risk analysis when a structure is lifted for maintenance. A quantitative risk analysis program that can analyze the risk using the pairwise comparison matrix analysis method was developed. The risk was analyzed in real-time for the lifting structure by connecting the program with an automatic jack-up system. Displacements were measured by the IR sensor among the components of the automatic jack-up system, and the displacements were provided to the quantitative risk analysis program. To confirm the performance of the smart automatic jack-up system, experiments were conducted on bridge and risk analysis was performed when a superstructure was lifted. A linear variable differential transformer (LVDT) was also installed on the bridge to verify the performance of the smart automatic jack-up system. The maximum displacements were measured using the devices, and the declinations were compared. The performance of the simultaneous operation of the jack-up device was verified by the analysis of variance (ANOVA).

Keywords : smart automatic jack-up system, IR-sensor, pairwise comparison matrix, quantitative risk assessment, ANOVA

1. 서 론

국내 건설산업은 1970년대 이후 부족한 사회 간접시설을 확보하기 위한 집중적인 투자를 통해 높은 성장을 기록해 왔으나, 시간이 경과함에 따라 사회기반 시설물의 급속한 노후화가 진행 중임에도 유지관리 체계는 미흡한 실정이다. 국내 공공시설물은 1970년에서 1980년 사이에 경제성장과 함께 집중적으로 구축되었으며, 현대경제연구원에 따르면 현재 30년 이상된 시설은 약 9.3%를 초과한다. 특히 사회기반 시설의 기초이자 핵심 사회간접자본(social overhead capital, SOC) 시설 중 하나인 교량은 35년 이상된 국내 교량이 약 1,785개소(6.1%)이며, 10년

이후엔 4,855개소(16.7%), 20년 이후에는 14,338개소(49.2%)로 교량의 노후화가 급속히 증가할 것으로 예상된다.

현재 국내에는 도시 인프라의 급속한 노후화와 각종 시설물의 안전사고 예방을 위해 효율적인 스마트시티의 안전관리 시스템을 클라우드(cloud) 기반 서비스와 연계하여 운영 중이며, 다양한 연구가 수행되고 있다(Kang *et al.*, 2016; Kim and Lee, 2019; Kim *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2017). 유지관리 시스템으로 감지된 노후 시설물 또는 손상이 발생한 시설물의 보수 및 보강과 내진보강 등을 위해 구조물을 효율적으로 올리고 내릴 수 있는 인상(jack-up) 시스템을 사용하여 유지보수를 수행하고 있다. 상용화된 인상 시스템은 정밀 인상 작업이 가능하며 구

[†]Corresponding author:

Tel: +82-2-2123-5801; E-mail: tshan@yonsei.ac.kr
Received October 28 2021; Revised November 25 2021;
Accepted November 29 2021

© 2022 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

조물을 동시에 인상함으로써 구조물에 변형 및 손상이 발생하지 않으나, 전문 기술자가 필요하며 시스템의 인상 능력이 정해져 있으므로 확장성 및 활용 범위가 좁고 고중량 구조물을 대상으로는 한계가 있다. 또한, 구조물의 위치별 무게가 다르거나 복잡한 형상을 가진 경우 편심이 발생하여 구조물의 전도와 이탈 등과 같은 안전사고가 발생할 수 있으므로 안전하고 효율적인 구조물 인상 시스템 개발이 요구된다.

본 연구에서는 쌍대비교행렬(pairwise comparison matrix) 분석 기법(Saaty, 1980)을 이용하여 구조물 인상 시 실시간으로 위험도를 분석하는 프로그램을 개발하였고, 이를 인상 시스템에 활용하였다. 구조물 인상 시 사용자의 숙련도에 상관없이 동일한 시공 품질 확보가 가능하며, 인상장치의 확장성이 뛰어나 대형 및 고중량 구조물에 적용할 수 있다. 그리고 인상장치가 설치된 구역별로 이탈과 전도 등의 위험도를 정량적으로 분석 및 예측함으로써 불안전 요소를 차단할 수 있으므로 시공 안전성 확보 및 품질 향상이 가능하다. 개발된 인상 시스템은 실제 교량을 활용하여 실험을 통해 성능을 분석하였다.

2. 정량적 위험도 분석 프로그램

쌍대비교행렬(pairwise comparison matrix)은 행정학, 정책학의 분석 기법 중 계층화 분석법(analysis hierarchy process, AHP)에서 사용되는 행렬이며, 최근 구조물의 위험도를 분석하는 연구에서 자주 활용되었다(Kim and Kang, 2020; Woo et al.,

2013). AHP는 Saaty(1980) 연구에서 개발된 분석방법으로 의사결정의 목표 또는 평가기준이 다수이며 복합적인 경우, 이를 계층화하여 주요 요인과 이를 이루는 세부 요인들로 분해하고, 중요도(가중치)를 산출하는 분석방법이다(Saaty, 1990; Saaty and Kearns, 1991). AHP에서 중요도를 산정할 때 쌍대비교를 이용하는데, 이때 사용되는 행렬이 쌍대비교행렬이며 응답의 항목수(n)에 따라 $n \times n$ 규모를 가진다. 항목간 상대적 비교값을 이용하여 행렬로 나타내며 자체적으로 행렬 곱을 연산하여 상호 중요도를 수학적으로 도출할 수 있다. 쌍대비교행렬 분석 과정은 다음과 같다. 각각 변수의 비율을 활용하여 행렬로 나타내고(Fig. 1(1)), 두 행렬을 곱한다(Fig. 1(2)). 두 행렬을 곱한 결과의 행간을 더하여 행렬(Fig. 1(3))로 나타낸 다음 각 열에 해당하는 값과 총합과의 비율을 통해 각 변수의 중요도(Fig. 1(4))를 나타낸다(Al-Harbi, 2001). 계산과정은 도식화하여 Fig. 1에 나타내었다.

본 연구에서는 쌍대비교행렬 분석 과정을 활용하여 위험도를 분석할 수 있는 정량적 위험도 분석 프로그램을 개발하였다. 쌍대비교행렬 분석 과정에서 중요도 계산에 사용되는 변수는 구조물 인상 시 거리측정센서(IR-sensor)로 측정되는 변위를 이용하였고, 거리측정센서가 설치된 지점의 변위를 실시간으로 프로그램에 입력되도록 설정하였다. 각 지점별로 측정된 변위의 비율로 쌍대비교행렬을 구축할 수 있도록 하였으며

Fig. 1 Process of pairwise comparison

Fig. 2 Main screen of quantitative risk analysis program

Fig. 3 Process of risk analysis

쌍대비교행렬 분석 과정을 통해 각 지점별 중요도를 확인할 수 있도록 개발하였다. 이때 계산되는 중요도는 각 지점별로 측정되는 변위의 비율을 통해 계산되므로 위험도로 간주할 수 있다. 프로그램에는 지점별로 측정되는 변위와 위험도 분석 결과를 실시간 모니터링(monitoring)이 가능하도록 하였고(Fig. 2), 위험도 분석 계산과정을 확인할 수 있도록 프로그램을 제작하였다(Fig. 3). 개발한 위험도 분석 프로그램을 자동 인상 시스템과 연계하여 구조물 인상 시 실시간으로 위험도 분석이 가능한 스마트 자동 인상 시스템을 개발하였다.

3. 스마트 자동 인상 시스템

본 연구에서 개발한 스마트 자동 인상 시스템은 기존에 상용화되어 있는 시스템과 달리 구조물 인상 시 정량적 위험도 분석이 가능하다. 실시간으로 변위를 측정할 수 있는 자동 인상 시스템을 정량적 위험도 분석 프로그램과 연계하여 구조물

인상과 동시에 위험도 분석을 수행할 수 있도록 하였다. 스마트 자동 인상 시스템은 유압잭, 거리측정센서, 유압펌프, 제어기 등과 같은 하드웨어(hardware, Fig. 1)와 정량적 위험도 분석 프로그램 등의 소프트웨어(software)로 구성되어 있다. 유압잭(Fig. 4(a))과 거리측정센서(Fig. 4(b))는 교량의 상부구조와 하부구조 사이와 같은 인상이 필요한 구조물에 설치되어 구조물을 인상함과 동시에 변위를 측정한다. 두 장치는 유압펌프(Fig. 4(c))와 제어기(Fig. 4(d))를 통해 작동되며 구조물 인상 시 거리측정센서를 통해 측정되는 변위는 실시간으로 정량적 위험도 분석 프로그램에 입력된다. 입력된 변위를 바탕으로 쌍대비교행렬 분석 기법을 통해 각 지점의 위험도를 분석하고 그 결과를 나타낸다. 프로그램을 통해 구조물의 인상을 제어하므로 작업자 숙련도에 상관없이 동일한 시공 품질 확보가 가능하며, 위험도 분석을 통해 불안전 요소를 사전에 차단함으로써 효율적인 구조물 인상이 가능하다. 구조물 인상과 위험도 분석의 개요도는 Fig. 5에 나타내었다.

4. 스마트 자동 인상 시스템 성능평가

4.1 실험조건 및 방법

본 연구에서 개발한 스마트 자동 인상 시스템의 성능 및 현장 적용성을 평가하기 위해 실제 교량을 이용하여 실험을 진행하였다. 실험은 한국건설생활환경시험연구원(korea conformity laboratories, KCL)과 공동으로 진행하였으며, 실험에 사용된 교량은 울산-포항 고속도로의 개곡 1교로 수직 용량 1500톤(250톤 용량의 받침 6개)의 마찰형 포트 받침이 설치되어 있는 교대에서 실험을 진행하였다. 교량의 제원은 Table 1에 나타내었다. 유압잭과 거리측정센서는 마찰형 포트 받침 부근으로 한 구역(zone)당 4개씩 총 5개의 구역에 설치하였다. 또한, 스

Fig. 4 Components of smart automatic jack-up system hardware

Fig. 5 Overview of jack-up and risk analysis

Table 1 Specifications of bridge used in experiment

Bridge alignment		Bridge type			Specification		
Transverse	Longitudinal	Superstructure	Substructure	Foundation	Length(m)	Width(m)	Skew angle(°)
Straight	(+) 1.1000 ~ (+) 2.6248	PCT Girder	Abutment: Inverted T-Shape Pier: //Shape + T-Shape	Pile foundation	565.6	24.47 ~ 29.06	0

Fig. 6 Installation location of devices

마트 자동 인상 시스템의 신뢰도를 평가하기 위해 KCL에서 보유하고 있는 교정된 LVDT(linear variable differential transformer)를 3개의 구역에 함께 설치하여(Fig. 6) 인상량, 인상단차 및 통계 분석을 수행하였다. 교량 인상 시스템의 성능평가는 별도의 시험규격이 없으므로 실제 교량 상부구조를 인상은 것과 동일한 방법으로 진행되었으며, 상부구조를 10mm 까지 동시 인상하여 시간별 변위를 측정하였다. 인상 시 인상속도는 0.02mm/sec 내외로 하였고 총 3회 반복 수행하여 평균을 통해 그 결과를 확인하였다.

4.2 실험 결과 및 분석

스마트 자동 인상 시스템의 성능평가를 위해 울산-포항 고속도로에 위치한 개곡 1교를 대상으로 실험을 진행하였고, 교량의 상부구조를 인상함과 동시에 구역별 위험도를 확인하였다. 그리고 스마트 자동 인상 시스템의 신뢰도를 평가하기 위해 LVDT를 추가로 설치하여 각 구역별 인상량, 인상단차를 비교·분석하였으며, 인상장치의 동시 작동에 대한 검증을 위해 통계분석을 수행하였다.

4.2.1 위험도 분석

교량의 상부구조 인상 시 실시간으로 계산되는 각 구역별 위험도를 분석하였다. 거리측정센서로 측정된 구역별 변위가 위험도 분석 프로그램에 입력되며, 쌍대비교행렬 분석 기법을 통해 위험도를 계산한다. 교량 상부구조 10mm 인상 시 구역별 위험도는 Fig. 7에 나타내었다.

인상 초기 시 첫 번째 구역(Zone 1)의 위험도가 가장 높게 나타났으나, 상부구조의 인상량이 최대변위(10mm)에 가까워짐에 따라 세 번째 구역(Zone 3)의 위험도가 점차 증가하였으며, 최대변위 도달 시 가장 높게 나타났다. 이는 상부구조의 형상 및 부대시설 등과 같은 요인들로 인해 위험도가 실시간으로 변

Fig. 7 Result of risk analysis

Fig. 8 Displacement measured by IR-sensor

경되는 것으로 판단된다. 따라서, 개발한 자동 인상 시스템을 통해 구조물 인상 시 위험도 분석을 함께 수행할 수 있는 것을 확인하였으며, 위험도를 분석함으로써 불안전 요소를 사전에 차단하여 안전성 확보 및 품질 향상이 가능할 것으로 판단된다.

4.2.2 인상량 비교분석

본 연구에서 개발한 스마트 자동 인상 시스템의 신뢰성을 평가하기 위해서 거리측정센서를 통해 측정된 변위와 LVDT로 측정된 변위의 최댓값을 비교·분석하였다. 거리측정센서는 5개의 구역에 모두 설치하였으나 LVDT는 3개의 구역에만 설치하였으므로(Fig. 6), LVDT가 설치된 구역에서 측정된 변위를 비교·분석에 사용하였다. 거리측정센서로 측정된 변위는 Fig. 8과 같으며, 각 장치별로 측정된 변위의 최댓값은 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Maximum displacements measured by IR-sensor and LVDT

Zone	Maximum displacement(mm)	
	IR-sensor	LVDT
Zone 1	10.00	10.33
Zone 3	10.03	10.30
Zone 5	10.13	10.04

Table 3 Maximum declinations between each zone

Zone	Zone 1~Zone 3	Zone 1~Zone 5	Zone 3~Zone 5
Maximum declination(mm)	0.03	0.29	0.26

스마트 자동 인상 시스템을 통해 상부구조를 10mm 인상하였을 때, 거리측정센서로 측정된 변위의 최댓값은 구역별로 10mm, 10.03mm, 10.13mm가 측정되었으며, LVDT로는 10.33mm, 10.30mm, 10.04mm가 각각 측정되었다. 두 장치간의 구역별 오차는 동일한 수준으로 나타났다. 따라서, 거리측정센서로 측정되는 변위를 바탕으로 위험도를 분석하는 것은 신뢰할 수 있는 수준이다. 그리고 LVDT로 측정된 변위 최댓값으로 구역별 단차를 비교하였다. 가장 큰 단차가 발생한 구역은 첫 번째 구역과 다섯 번째 구역간으로 0.29mm 단차(declination)가 발생하였으나(Table 3) 상부구조의 폭을 고려하였을 때 허용가능한 수준의 변위인 것으로 판단된다.

4.2.3 동시 인상 작동에 대한 통계적 분석

스마트 자동 인상 시스템의 구성요소 중 인상장치(유압잭, 거리측정센서)의 동시 작동에 대한 검증을 위해 계속된 시간-변위 데이터를 활용하여 통계적으로 분석하였다. 통계적 분석 방법으로는 분산분석(analysis of variance, ANOVA)을 이용하였다. 분산분석은 통계학에서 다수의 집단을 서로 비교할 때 사용되는 분석방법으로, 집단 내의 분산, 총평균 그리고 집단의 평균차로 인해 발생하는 집단 간 분산의 비교를 통해 만들어지는 F분포를 이용하여 가설을 검증하는 방법이다(Park and Oh, 2010; Sthle and Wold, 1989). 여기서, F 분포는 정규분포를 이루는 모집단에서 독립적으로 추출한 표본들의 분산비율이 나타내는 연속 확률 분포이다. 분석을 위해 각 관측(구역별 인상장치)은 모두 독립 시험한 것으로 가정하고 상부구조 인상량 평균이 10mm에 도달했을 때 각 회차별 변위를 적용하여 분산분석을 실시하였다. 각 구역별 변위는 동일한 것으로 가설을 세우고 이에 대한 귀무가설과 대립가설을 설정하였다. 여기서, 귀무가설은 모집단의 특성에 대해 옳다고 제안하는 잠정적인 주장이며, 대립가설은 귀무가설이 거짓이라면 대안적으로 참이 되는 가설이다. 본 연구에서는 각 구역별 변위가 동일한 것으로 가설을 세웠으므로 귀무가설은 $A_1 = A_2 = A_3$ 로 설정하였으며 대립가설은 모든 A_i 가 같지 않은 것으로 설정하였다. 두 가설은 관측된 집단의 평균 제곱 처리(mean square treatment)

Table 4 Displacements of each zone by times measured by LVDT

Tests	Displacement(mm)		
	A_1	A_2	A_3
D_1	10.11	10.06	10.11
D_3	10.05	10.05	10.10
D_5	9.86	9.89	9.82

Table 5 Average and variance of displacements measured by LVDT

Factor	Times	Sum	Average	Variance
First-time	3	30.010	10.003	0.016741
Second-time	3	30.000	10.000	0.009756
Third-time	3	30.036	10.012	0.028252

Table 6 Result of analysis of variance

Variable	Sum of squares	Degree of Freedom	Mean square	F-value	P-value	Critical value
Treatment	0.00023	2	0.000115	0.006308	0.993719	5.143253
Error	0.109499	6	0.01825	-	-	-
Total	0.109729	8	-	-	-	-

와 평균 제곱 오차(mean square error)의 비율인 F-비(F-value)와 F 기각치(critical value)를 비교하여 참인 가설을 선정할 수 있다(Lee, 1997). LVDT로 측정되는 변위를 통계적 분석에 사용하였고, 측정된 변위는 Table 4와 같다. 회차별로 측정된 변위의 합, 평균, 그리고 분산을 Table 5에 나타내었으며 분산분석 결과를 Table 6에 나타내었다.

분산분석 결과 P-값(P-value)이 0.993719로 통계적인 가설 검증에서 사용되는 기준값인 유의수준 0.05(Di Leo and Sardanelli, 2020)보다 크며, F-비는 F 기각치보다 작으므로 귀무가설이 참인 것으로 확인할 수 있다. 따라서 각 구역별 측정된 변위는 모두 동일한 것으로 판단할 수 있으므로 스마트 자동 인상 시스템의 인상장치는 모두 동시 작동이 가능한 것으로 확인할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 유지보수를 위한 구조물 인상 시 이탈, 전도 등의 안전사고를 방지할 수 있는 스마트 자동 인상 시스템을 개발하였다. 실시간으로 위험도 분석을 수행할 수 있는 프로그램 제작하였고, 이를 자동 인상 시스템과 연계하여 구조물 인상과 동시에 실시간 위험도 분석이 가능하다. 개발한 스마트 자동 인상 시스템의 성능을 확인하기 위해 실제 교량을 대상으로 실험을 진행하였으며, 검증된 LVDT를 함께 설치하여 성능을 평가하였다.

- 1) 개발한 스마트 자동 인상 시스템의 성능을 확인하기 위해 울산-포항 고속도로의 개곡 1교를 대상으로 실험을 진행하였다. 교량받침 부근에 인상장치(유압잭, 거리측

정센서)와 LVDT를 설치하였다. 스마트 자동 인상 시스템으로 교량 상부구조를 인상한 결과 목표한 인상량까지 상부구조가 인상되었고, 실시간으로 위험도를 나타낼 수 있는 것을 확인하였다.

- 2) 상부구조 인상 실험 시 검증된 LVDT를 함께 설치하여 스마트 자동 인상 시스템의 성능을 평가하였다. 각 장치별로 측정된 변위의 오차는 2.29%로 동일한 수준이므로 거리측정센서를 통해 측정된 변위로 계산되는 위험도는 신뢰할 수 있는 수준인 것으로 판단된다. 그리고 구역간 최대 단차는 0.29mm가 발생하였으나, 상부구조의 폭을 고려했을 때 허용 가능한 수준의 단차인 것으로 판단된다.
- 3) 스마트 자동 인상 시스템 인상장치의 동시 작동에 대한 검증을 위해 통계적 분석을 수행하였다. 귀무가설은 구역별로 측정되는 변위가 모두 동일한 것으로 설정하였고 모든 변위가 같지 않은 것으로 대립가설을 설정하였다. 분석 결과 P-값이 유의수준 0.05보다 크며 F-비는 F 기각치보다 작으므로 귀무가설이 참인 것으로 확인하였다. 스마트 자동 인상 시스템을 이용하여 구조물 인상 시 각 구역에 설치된 인상장치는 동시 작동되며, 이탈 등의 안전사고가 발생하지 않는 안전하고 효율적인 자동 인상 시스템으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 중소기업기술정보진흥원이 주관하는 창업성장 기술개발사업(No. S2796792)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- Al-Harbi, K.M.A.S. (2001) Application of the AHP in Project Management, *Int. J. Proj. Manag.*, 19(1), pp.19~27.
- Di Leo, G., Sardanelli, F. (2020) Statistical Significance: p Value, 0.05 Threshold, and Applications to Radiomics-Reasons for a

- Conservative Approach, *Eur. Radiol. Exp.*, 4(1), pp.1~18.
- Kang, T.W., Kim, J.E., Choi, H.S. (2016) Effectiveness Analysis of BIM-based Architectural Facility Management Scenario, *J. Korea Acad.-Ind. Cooperation Soc.*, 17(11), pp.10~19.
- Kim, E.Y., Lee, T.H. (2019) A Study on the Establishment of Smart Platform according to the Fourth Industrial Revolution; Focusing on the Case of Pohang Smart City, *Korea Assoc. Int. Commer. & Inf.*, 21(2), pp.205~220.
- Kim, J.Y., Kang, J.M. (2020) Risk Analysis Method for Deriving Priorities for Detailed Inspection of Small and Medium-Sized Fill Dam, *J. Korean Geo-Environ. Soc.*, 21(10), pp.11~16.
- Kim, S.J., Kim, J.S., Han, T.S. (2021) Performance Analysis of Friction Pendulum System using PVDF/MgO Friction Material, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 34(4), pp.213~219.
- Lee, D.H., Leem, J.H., Park, J.H., Yu, B.J., Park, S.H. (2017) Study on Measurement Condition Effects of CRP-based Structure Monitoring Techniques for Disaster Response, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 30(6), pp.541~547.
- Lee, H.G. (1997) Principles of Hypothesis Testing I, *The Korean Soc. Pediatr. Infect. Dis.*, 4(1), pp.183~192.
- Park, S.I., Oh, T.H. (2010) The Application of Analysis of Variance (ANOVA), *J. Vet. Clin.*, 27(1), pp.71~78.
- Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T.L. (1990) How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process, *Eur. J. Oper. Res.*, 48(5), pp.9~26.
- Saaty, T.L., Kearns, K.P. (1991) *Analytical Planning: The Organization of Systems, The Analytic Hierarchy Process Series*, RWS Publication 4, Pittsburgh, USA.
- Sthle, L., Wold, S. (1989) Analysis of Variance (ANOVA), *Chemom. & Intell. Lab. Syst.*, 6(4), pp.259~272.
- Woo, S.K., Kim, K.J., Kim, T.H. (2013) The Risk Factor Analysis of Power Line Tunnel using the AHP Method in Construction Stage, *J. Korea Inst. Struct. Maint. & Insp.*, 17(5), pp.122~129.

요 지

본 논문에서는 유지보수를 위한 구조물 인상 시 위험도 분석을 수행하여 안전사고를 방지할 수 있는 스마트 자동 인상 시스템을 개발하였다. 쌍대비교행렬 분석 기법을 활용하여 위험도를 분석할 수 있는 정량적 위험도 분석 프로그램을 개발하였고, 이를 자동 인상 시스템과 연계하여 구조물 인상과 동시에 실시간으로 위험도 분석을 하였다. 자동 인상 시스템의 구성요소 중 거리측정센서로 구조물 인상 시의 변위를 측정하고, 측정된 변위는 정량적 위험도 분석 프로그램에 입력되어 위험도를 분석한다. 개발한 스마트 자동 인상 시스템의 성능을 확인하기 위해 실제 교량을 대상으로 실험을 수행하였으며, 구조물 인상과 동시에 위험도 분석이 가능한지를 확인하였다. 스마트 자동 인상 시스템의 성능을 평가하기 위해 인상실험 시 검증된 LVDT(linear variable differential transformer)를 함께 설치하였으며 거리측정센서와 LVDT로 측정되는 변위로 최대 인상량과 구역별 단차를 분석하였다. 인상장치의 동시 작동에 대한 성능을 통계적 분석방법인 분산분석(analysis of variance) 방법을 이용하여 성능을 검증하였다.

핵심용어 : 스마트 자동 인상 시스템, 거리측정센서, 쌍대비교행렬, 정량적 위험도 분석, 분산분석