

시설물 안전 및 유지관리 성과 평가에 관한 연구 - 시설물 안전등급 변화를 중심으로 -

강상혁¹ · 최석인² · 김화랑³ · 이정석*

¹인천대학교 건설환경공학부 · ²한국건설산업연구원 · ³서울과학기술대학교 건축공학과

A Study on Performance Evaluation of Infrastructure Safety and Maintenance

Kang, Sanghyeok¹, Choi, Seok In², Kim, Hwarang³, Lee, Jeongseok*

¹Department of Civil and Environmental Engineering, Incheon National University

²Division of Construction Management, Construction Economy Research Institute of Korea

³School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

Abstract : Recently, the paradigm shift of new construction into efficient operation and maintenance of infrastructure is seen. Also, concerns about infrastructure safety, especially the aged infrastructure, are on the increase. This study evaluates the current status of infrastructure safety and maintenance using data from 1994 to 2014 in Facility Management System operated by Korea Infrastructure Safety Corporation. Also, a quantitative analysis of safety performance of infrastructure is conducted to find out the enhancement of infrastructure safety in Korea. It was found that safety of facilities in Korea have been enhanced for the past decades. Improvement of safety performance of facilities is attributed to periodic safety inspection and repair and reinforcement. The result of the study can be used as a basic material for efficient and effective facility maintenance policies and strategies.

Keywords : Infrastructure Safety, Maintenance Performance, Inspection Index, Repair Index

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

시설물의 노후화가 급속히 진행됨에 따라 시설물 안전에 대한 국민적 관심이 증폭되고 있다. Kim(2013)은 우리나라 인프라의 고령화율을 9.3%로 분석하였으며, 우리나라가 ‘인프라 고령화’ 시대로 진입했다고 언급하였다. 동시에 시설물을 보다 안전하고 효과적으로 유지관리하기 위해 법과 제도를 개선해야 한다는 요구가 증가하고 있다.

인프라는 국가 경제를 원활하게 하는 가장 기본적인 역할을 담당한다. 이런 측면에서 매년 스위스에서 개최되는 세계경제포럼에서는 국가 경쟁력의 평가 기준 중 하나로 인프라를 꼽고 있다. 최근에는 영미 선진국을 중심으로 여러 나라에서 인프라의 체계적이고 효율적인 관리체계 확립을 위

한 연구가 수행되고 있다(Kang and Lee 2013). 특히 현재 인프라의 상태를 객관적으로 평가하고, 국가 인프라의 성능을 만족할만한 수준으로 회복시키기 위해 필요한 전략을 내놓고 있다(National Council on Public Works Improvement 1988, 2001, 2003, 2005, 2009, 2013a, 2013b; Development Bank of Southern Africa 2012, Engineers Australia 2010, Institution of Civil Engineers 2010, Canadian Infrastructure Report Card Project Steering Committee 2012). 또한 현재의 인프라 투자 정도가 국가의 미래 경제에 어느 정도의 영향을 미칠지에 대한 연구도 수행된 바 있다(ASCE 2013).

위와 같은 최근의 글로벌 트렌드는 지난 몇 십년간 주축이 되었던 신규 인프라 건설에서 인프라의 효율적인 운영과 유지관리로의 패러다임 전환이 이루어지고 있음을 암시한다. 이런 추세는 우리나라도 예외일 수 없다. 우리나라도 지난 30여 년간 신규 건설에 치중해 오다 최근에는 유지관리에 보다 높은 관심을 기울이고 있는 것으로 판단된다.

현재 우리나라의 사회기반시설은 크게 ‘시설물 안전관리에 관한 특별법(시특법)’과 ‘재난 및 안전관리 기본법(재난법)’에

* Corresponding author: Lee, Jeongseok, Division of Institute of Infrastructure Safety Technology, KISTEC, gyeonggi-do, 10387, Korea.

E-mail: archirus@kistec.or.kr

Received September 22, 2015; revised February 26, 2016

accepted March 3, 2016

의해 관리되고 있다. 시트법외의 관리를 받고 있는 시설물 수는 2015년 8월 기준으로 약 7만 개이고, 재난법의 관리를 받고 있는 시설물 수는 약 20만 개로 추정하고 있다. 그러나 두 법은 성격이 매우 다르다. 시트법은 시설의 유지관리에 초점을 두고 있는 반면 재난법은 재난에 대응한 응급복구에 무게를 두고 있다. 이런 배경 때문인지 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 데이터는 시트법에서 보다 정교하게 축적이 이루어지고 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 현재 시트법에 의해 관리되고 있는 시설물의 안전 및 유지관리 성과를 정량적으로 분석하는 방법을 제시하였다. 또한 그것을 바탕으로 우리나라 시설물의 안전 및 유지관리 성과를 각각도로 평가하였다. 평가를 위해 사용된 데이터는 한국시설안전공단이 전담하여 관리하고 있는 '시설물관리종합정보시스템(FMS: Facility Management System)'에 축적된 시설물의 안전등급 및 유지보수 데이터이다.

물론 안전등급이 모든 유지관리 활동의 결과를 대표할 수는 없으나 현재 가용한 데이터로는 안전등급이 유일할뿐더러 유지관리 활동이 안전등급에 직접적으로 영향을 끼친다는 전제 하에 연구를 진행하였다. 안전 및 유지관리 성과 평가를 위해 우선 우리나라 시설물 및 유지관리 현황을 짚어보고, 시설물의 안전등급 데이터를 이용하여 종합적인 유지관리 성과, 시설물별 성과, 연도별 성과 등을 분석하였다. 또한 본 논문에서 제시된 분석결과의 활용방안과 향후 기대효과를 고찰하였다.

2. 이론적 고찰

인프라의 안전 및 유지관리 성과는 주로 전문가들의 정성적인 평가에 의존하고 있다. 미국의 경우 전문가들의 정성적 평가에 근거하여 시설물의 안전성을 평가한다(ASCE 2001, 2003, 2005, 2009, 2013). 다양한 인프라 관련 보고서를 참고한다고 하지만 몇 십 년의 경력을 보유한 전문가들의 정성적 평가가 지배적이다. 이와 유사한 방식으로 영국, 호주, 남아프리카공화국에서 자국 인프라의 안전과 유지관리의 성과를 평가하고 있다(Engineers Australia 2010, Institution of Civil Engineers 2010, Development Bank of Southern Africa 2012).

한편 캐나다의 경우 보다 정량적인 방법으로 인프라의 안전성과 성능을 평가하고 있다. 캐나다 인프라 2012년 평가보고서에 따르면 그들은 대다수의 지자체에서 인프라를 담당하고 있는 실무자를 상대로 현재 관할 시설물의 상태에 대한 설문 실시하였다. 그리고 이 데이터를 취합하여 전국적인 시설물의 안전성을 평가하는 방식을 취하였다(Canadian Infrastructure Report Card Project Steering Committee 2012).

위의 접근 방법과는 다르게 시설물의 안전 및 유지관리와 관련된 연구는 대체로 시설물의 노후화나 성능 저하에 대비한 유지관리 효율화 전략에 관한 것(Chae et al. 2009, Chin et al. 2009, Lee et al. 2012)과 개별 시설물의 안전성을 평가하는 방법에 관한 연구(Chung and Chung 2000, So et al. 2002, Choi et al. 2010)가 대부분인 것으로 조사되었다. 그 외 유지관리 및 안전관리시스템 구축에 관한 연구(Kim et al. 2008) 등이 수행되었다. 국가나 지자체 단위에서 시설물 유지관리정책을 수립하기 위해 간간히 수행되었을 뿐 이론적으로는 충분한 연구가 수행되지 않은 것으로 나타났다.

3. 시설물 안전 및 유지관리 현황

3.1 시설물 현황

현재 우리나라의 시설물 안전과 유지관리에 관한 정보는 일부만이 체계적으로 축적되고 있다. 왜냐하면 유지관리 업무를 담당하는 지자체가 제각각 다르고, 정보 입력 체계도 호환성 있게 정립되어 있지 않기 때문이다. 다행히 한국시설안전공단에서 운영하고 있는 FMS에 시설물 유지관리 정보가 축적되고 있는데, 약 7만 개의 시설물만이 그 대상이다. 실제로 우리나라에 존재하는 시설물 수는 수십 만 개에 달하는 것으로 추정되고 있으나 정확하게 집계된 자료는 없는 것으로 알려져 있다. FMS는 2003년에 구축되어 현재까지 한국시설안전공단이 총괄하여 관리하고 있는 시설물 안전 및 유지관리에 관한 종합시스템이다. 이 시스템에는 한국시설안전공단이 관리하고 있는 시설물의 제원, 안전등급, 유지보수 이력, 조치결과 등의 정보가 입력되어 있다. 또한 전국 시도별 관리 주체로부터 작성 및 제공되는 시설물 유지관리 관련 데이터가 입력되도록 시스템화 되어 있다. 본 연구는 FMS로부터 수집한 데이터를 바탕으로 수행되었다. 우선 시설물 현황부터 살펴보면 다음과 같다.

Table 1. Number of facilities by facility types (KISTEC 2014)

Classification	Buildings	Bridge	River	Tunnel	Water supply & drainage	Retaining Wall	Dams	Cut-slope	Ports	Total	Percentage
Type 1	1,717	3,710	407	1,327	252	0	74	0	80	7,567	11.5%
Type 2	44,677	5,865	2,854	1,367	1,234	1,320	470	404	262	58,453	88.5%
Total	46,394	9,575	3,261	2,694	1,486	1,320	544	404	342	66,020	100.0%
Percentage	70.3%	14.5%	4.9%	4.1%	2.3%	2.0%	0.8%	0.6%	0.5%	100.0%	

Table 2. Number of facilities by safety grade (KISTEC 2014)

Classification	Bridge	Tunnel	Ports	Dam	Buildings	River	Water supply & drainage	Retaining Wall	Cut-slope	Total	Percentage
A	3,249	1,383	51	165	8,142	1,284	496	842	165	15,777	23.9%
B	5,491	1,166	260	181	37,015	874	903	374	118	46,382	70.3%
C	693	114	24	188	935	174	42	16	100	2,286	3.5%
D	12	1	1	9	9	12	0	0	2	46	0.1%
E	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0.0%
Unknown	130	30	6	1	293	917	44	88	19	1,528	2.3%
Total	9,575	2,694	342	544	46,394	3,261	1,486	1,320	404	66,020	100.0%
Percentage	14.5%	4.1%	0.5%	0.8%	70.3%	4.9%	2.3%	2.0%	0.6%	100.0%	-

Table 1에 제시한 바와 같이 2014년 6월 기준 FMS에 등록되어 있는 시설물은 총 66,020개로 1종 시설물은 7,567개 (11.5%), 2종 시설물은 58,453개(88.5%)의 분포를 보이고 있다. 시특법에서는 시설물의 규모나 중요도에 따라 1, 2종으로 나누어 시설물 관리 기준을 달리하고 있으며(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport 2014), 관련된 세부 내용은 시특법 시행령 제2조(시설물의 범위)에 제시되어있다.

등급별로 보면, A등급이 15,777개로 전체의 23.9%를 차지하고, B등급은 46,382개로 70.3%의 비중을 보이고 있다(Table 2). 시설물의 안전 등급은 5가지 등급으로 구분하고 있으며 등급별 기준은 다음과 같다(Special Act on The Safety Control of Public Structures enforcement ordinance).

- ① A등급: 문제점이 없는 최상의 상태
- ② B등급: 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
- ③ C등급: 주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
- ④ D등급: 주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
- ⑤ E등급: 주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

Fig. 1은 우리나라 시설물이 1990년대 중반부터 기하급수적으로 증가한 것을 보여준다. Table 3에 보인 바와 같이 1995년부터 2013년까지 매년 평균 2,898개의 준공된 시설물이 FMS에 등록된 것으로 조사되었다. 준공 시설물이 가장 많았던 해는 1999년으로 3,380개의 시설물이 등록된 반면, 2,023개가 등록된 2008년은 가장 적은 시설물이 등록된 해로 기록되었다. 당분간 이와 같은 추세로 시설물이 증가할 것으로 예상되고, 2020년에는 등록된 시설물 수가 80,000개를 넘을 것으로 전망된다. 전년 대비 증가율을 보면 1995년부터

2002년까지 평균 14.0%의 증가율을 보였고, 2003년부터는 한 자리수 증가율을 보이고 있다. 가장 최근인 2013년에는 4.5%의 증가율을 보인 것으로 나타났다.

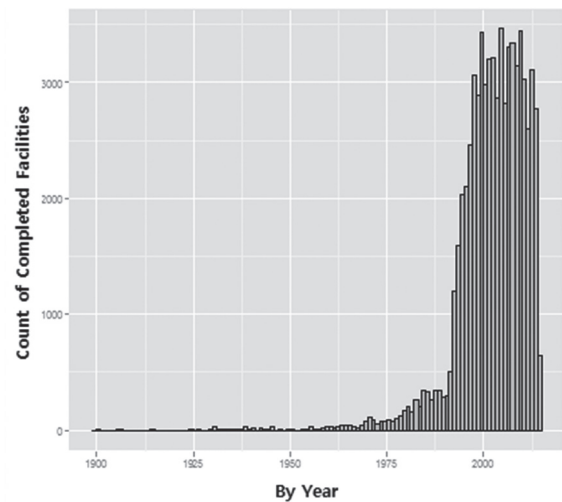


Fig. 1. Number of facilities by completion year (KISTEC 2014)

Table 3. Increase trend of facilities by completion year (KISTEC 2014)

year of completion	Count	Percentage	Cumulative Number	YoY Growth
1994	9,440	14.6%	9,440	-
1995	2,053	3.2%	11,493	21.7%
1996	2,414	3.7%	13,907	21.0%
1997	2,995	4.6%	16,902	21.5%
1998	2,843	4.4%	19,745	16.8%
1999	3,380	5.2%	23,125	17.1%
2000	2,942	4.6%	26,067	12.7%
2001	3,149	4.9%	29,216	12.1%
2002	3,173	4.9%	32,389	10.9%
2003	2,787	4.3%	35,176	8.6%
2004	3,349	5.2%	38,525	9.5%
2005	2,782	4.3%	41,307	7.2%
2006	3,266	5.1%	44,573	7.9%
2007	3,281	5.1%	47,854	7.4%
2008	2,023	3.1%	49,877	4.2%
2009	3,335	5.2%	53,212	6.7%
2010	2,971	4.6%	56,183	5.6%
2011	2,526	3.9%	58,709	4.5%
2012	3,009	4.7%	61,718	5.1%
2013	2,781	4.3%	64,499	4.5%

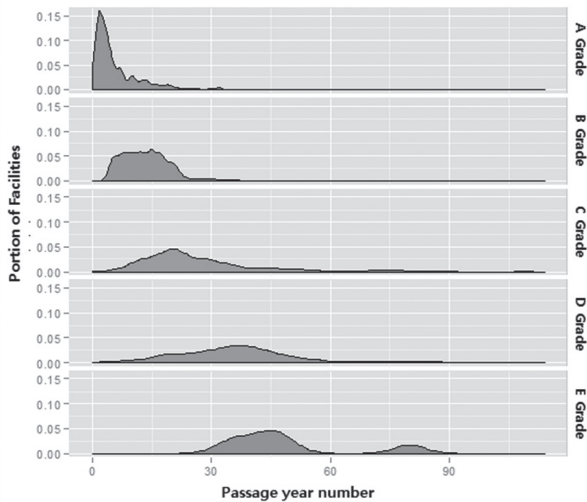


Fig. 2. Probability density function by service years

Fig. 2는 경과연수에 따른 등급별 확률밀도함수를 보여준다. 2014년을 기준으로 한 시설물의 경과연수에 따른 등급 분포는 크게 ① 0~5년, ② 6~10년, ③ 11~20년, ④ 21~40년, ⑤ 41년 이상으로 구분해 볼 수 있다. 각 시기별 시설물의 특징은 다음과 같다.

① 0~5년: 이 기간은 시설물의 경과연수가 오래되지 않았기 때문에 대부분의 시설물이 A등급(전체의 70~90%)에 속해 있다. 이후 B등급이 차츰 많아져서 5년이 되는 해에는 전체의 50% 정도를 차지한다.

② 5~10년: A등급의 비중은 급격히 줄어들어 15%까지 떨어지는 반면, B등급 시설물의 개수는 급격히 증가하여 약 80%를 차지한다.

③ 10~20년: 이 기간은 C등급이 출현하여 점차 증가해 약 6%에 이른다. 또한 A등급은 지속적으로 감소하여 5% 수준까지 떨어지고, B등급은 80% 수준을 유지한다.

④ 20~40년: 이 시기에 C등급은 급격히 증가하여 경과연수 25년 이후에는 비중이 전체의 20% 정도에 이른다. 경과연수 40년이 되는 시기에는 전체의 25%가 C등급에 속한다.

⑤ 40년 이상: C등급이 40%까지 치솟는다. 보수, 보강이 이루어지기 때문에 A 또는 B등급이 간헐적으로 급격한 증가를 보이기도 한다.

3.2 유지보수 현황

주기적인 안전 점검 및 진단 활동에 따른 보수/보강 활동은 시설의 안전도를 지키기 위해 필수적으로 요구된다. 이에 본 연구에서는 다음과 같이 '안전점검진단지수(Inspection Index, InI)'와 '보수보강지수(Repair Index, ReI)'를 정의하여 시설물의 전반적인 유지관리 추세를 분석하였다.

3.2.1 점검진단지수

우선 InI는 1년동안 시설물 1개당 몇 번의 안전 점검과 진단

이 이루어졌는가를 나타낸다. 예를 들어 특정 연도의 InI가 1이면 그 해에는 시설물스톡과 점검진단 건수가 동일한 것으로, 시설물 1개당 평균 1회의 점검 또는 진단이 이루어졌다는 것을 의미한다.

$$InI = (\text{당해 연도 안전점검 및 진단건수}) / (\text{당해 연도 시설물스톡}) \quad (1)$$

Fig. 3에 제시된 바와 같이 InI를 기준으로 하면 지난 20년을 세 단계의 시기로 나누어볼 수 있다. 첫째는 안전 점검 및 진단 활동의 '정착기'로 1995년부터 1999년까지의 기간이다. 이 시기에는 InI가 0.05에서 0.40으로 증가하였고, 평균 0.18을 기록하였다. 즉, 안전 점검과 진단이 시설물 1개당 1년에 1회도 실시되지 않은 것이다.¹⁾

둘째는 '도약기'로 2000년부터 2002년까지의 시기이다. 이 시기에는 InI가 평균 1.71로 급증하였다. 다시 말해 1995년부터 1999년까지는 매년 시설물 1개당 0.18회의 안전 점검 또는 진단이 이루어진 반면 2000년부터 2002까지는 1.71회의 안전 점검 또는 진단이 실시되었다고 볼 수 있다.

마지막은 '안정기'로 2003년 이후부터가 이 시기에 속한다. 안정기에는 2.00 이상의 InI가 유지되고 있는데, 이것은 산술적으로 매년 시설물마다 평균 2회 이상의 점검 또는 진단이 이루어지고 있다는 것을 의미한다. 안정기에 접어든 후 점검 및 진단 건수는 시설물스톡에 비례하여 증가하고 있는 것으로 나타났다.

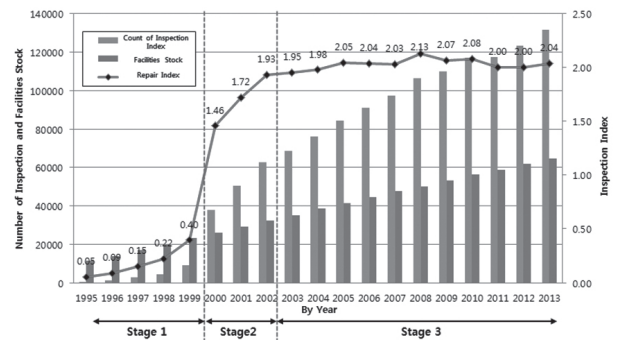


Fig. 3. Trend of inspection and diagnosis

3.2.2 보수보강지수

본 연구에서는 식 (2)와 같이 보수보강지수(ReI)를 정의하여 보수보강 건수 추이를 분석하였다. ReI는 시설물 10개당 보

1) 이 시기에 InI가 0.5 미만인 것은 데이터가 충분히 축적되지 않은 이유 있다. FMS가 구축된 2003년 이후에는 거의 모든 안전 점검 및 진단 데이터가 시스템에 등록되었다. 그러나 그 이전의 데이터는 전부 등록되지 않은 것으로 조사되었다. 물론 2003년 이전의 데이터도 입수하여 시스템에 등록하였다고 하나, 어느 정도 유실되었음을 부정할 수 없다. 따라서 그래프에 나타난 '정착기'라는 용어는 이러한 모든 상황을 통틀어 지칭하고자 한다.

수 · 보강 건수를 의미한다. 예를 들어 그 해 Rel가 1이면 시설물 10개당 1회의 보수 · 보강 공사가 실시되었다고 볼 수 있다.

$$Rel = (\text{당해연도 보수보강건수}) / (\text{당해연도 시설물스톡}) * 10 \quad (2)$$

FMS의 데이터에 따르면 1995년부터 2014년 6월까지 97,486회의 보수 · 보강공사가 있었다. 그 중 보수공사가 71,870건으로 전체의 73.7%를 차지하였고, 그 다음으로 기타공사 13,013건(13.3%), 개량공사 5,636건(5.8%), 보강공사 5,213건(5.3%)의 순으로 나타났다. 개축, 구조변경, 대수선, 용도변경, 증설, 증축을 포함하는 변경공사는 총 1,668건으로 1.8%의 비중을 차지하였다.

시특법 제15조에서는 안전점검 또는 정밀안전진단 실시결과 등의 이행 등의 규정을 통해 안전점검이나 정밀안전진단 실시결과를 통보받은 관리주체는 구조안전에 영향을 줄 수 있는 대통령령으로 정하는 중대한 결함사항에 대하여는 대통령령으로 정하는 바에 따라 시설물의 보수 · 보강 등 필요한 조치를 하여야 한다고 명시하고 있다.

Rel는 1995년 이후 급격히 증가하여 2001년 최고치인 3.05를 기록한 후, 점차 감소하여 2013년에는 0.65를 기록하였다. 우선 Rel가 지속적으로 감소하는 것은 매우 고무적인 현상으로 풀이된다. 이러한 현상은 다양한 정황을 바탕으로 해석될 수 있다. 첫째, 최근에 건설된 시설물의 수가 매우 많기 때문일 수 있다. Rel는 시설물 스톡을 분모로 취하고 있기 때문에 최근 급증한 시설물 수의 영향으로 감소할 수 있다. 또한 최근에 지어진 시설물은 노후화된 것보다 보수보강이 필요하지 않기 때문에 이것 또한 보수보강지수 감소에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 2.1절에서도 보인 바와 같이 우리나라 시설물은 1995년 이후 비약적으로 증가세를 보였다.

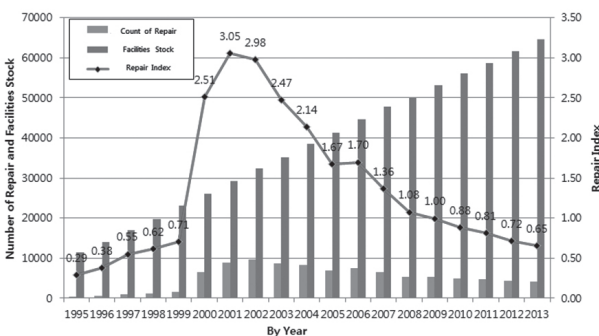


Fig. 4. Trend of repair and reinforcement

4. 안전등급 변화 분석

4.1 데이터 수집 및 가공

FMS에 축적된 데이터 중 안전등급을 부여받은 것을 수집하여 안전등급 변화를 분석하였다. 분석에 사용된 데이터

는 총 257,503개로 시설물 수는 65,257개로 집계되었다. 즉, 65,257개의 시설물이 257,503회의 안전등급을 부여받은 것이다. 전체 등급부여 횟수는 257,503회로 시설물당 상태등급을 평균 3.9회 부여받은 것으로 볼 수 있다. 한편 상태등급을 1회 받은 시설물이 15,554개로 가장 많았고, 그 다음으로 5회, 4회의 상태등급을 받은 시설물 수가 많은 순으로 나타났다(Table 4).

Table 4. Distribution of number of grades assigned (KISTEC 2014)

Number of grades assigned	Number of Facilities	Percent
1	15,554	23.83
2	6,216	9.53
3	5,631	8.63
4	10,365	15.88
5	13,416	20.56
6	6,394	9.80
7	2,926	4.48
8	1,994	3.06
9	1,236	1.89
10	699	1.07
11	297	0.46
12	107	0.16
13	77	0.12
14	99	0.15
15	81	0.12
16	53	0.08
17	53	0.08
18	23	0.04
19	7	0.01
More than 20 times	29	0.04
Total	65,257	100

4.2 분석의 방법

본 연구에서는 시설물이 부여 받은 등급의 변화를 바탕으로 안전성을 평가하였다. 시설물의 등급별 상태평가에 대한 점검 및 진단 실시시기 기준은 크게 3가지 구분되며, 정기점검은 반기에 1회 이상, 정밀점검은 최대 4년에 1회 이상, 정밀안전진단은 최대 6년에 1회 이상 실시해야 한다.²⁾

여기서 등급 변화는 해당 시설물이 최초로 정밀 점검을 받아 부여된 상태등급과 가장 최근의 상태등급과의 차이를 의미한다. 예를 들어 애초에 받은 상태등급이 A였는데 최근에 받은 등급이 C였다면 등급이 2단계 하락한 것으로 볼 수 있다.

2) 국토부(2014) “시설물의 안전관리에 관한 특별법”에 명시된 조항으로 정밀점검 중 건축물은 4년(A등급), 3년(B·C 등급), 2년(D·E등급)이며, 그 외 시설물은 3년(A등급), 2년(B·C 등급), 1년(D·E등급)으로 규정하고 있음. 또한 정밀안전진단에서는 모든 시설물에 대하여 6년(A등급), 5년(B·C 등급), 4년(D·E등급)으로 실시시기를 규정하고 있음.

등급이 하락하였다는 것은 시간이 지남에 따라 시설물이 자연스럽게 마모되고, 부식이 발생하여 내구성이 떨어져 시설물의 상태가 악화되었다는 것을 의미한다. 한편 등급이 유지되었거나 또는 상승하였다는 것은 보수 및 보강 작업을 실시하여 시설물의 상태가 개선되었다는 것을 의미한다. 따라서 등급이 유지되었거나 상승한 경우는 유지 보수 활동의 성과로 볼 수 있다. 시설의 안전성을 평가하기 위해 단순히 현재의 상태등급을 체크할 수도 있지만 본 연구에서는 시설의 이력 정보를 바탕으로 어느 정도 안전등급이 상승하였는가에 초점을 두었다.

4.3 분석 결과

4.3.1 종합 등급 변화

Table 5. Current changes in classification

Grade Change	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
4 grade ▲	5	0.01%	5	0.01%
3 grade ▲	13	0.02%	18	0.03%
2 grade ▲	221	0.34%	239	0.37%
1 grade ▲	3,003	4.60%	3,242	4.97%
grade maintain	43,501	66.66%	46,743	71.63%
1 grade ▼	17,989	27.57%	64,732	99.20%
2 grade ▼	509	0.78%	65,241	99.98%
3 grade ▼	15	0.02%	65,256	100.00%
4 grade ▼	1	0.00%	65,257	100.00%
Total	65,257	100.00%	-	-

1995년부터 현재까지 등급 변화 현황을 Table 5에 나타내었다. 앞서 설명한 바와 같이 시설물의 안전 등급은 모두 5개(A, B, C, D, E)로 구분된다. 따라서 등급이 최대 4단계 오르는 것(예: E→A)에서부터 4단계 떨어지는 것(예: A→E)까지 8개의 등급 변화와, 기존의 등급을 유지하는 경우까지 총 9개의 범주로 구분할 수 있다. 우선 처음과 마지막의 상태등급이 동일한 '등급유지'에 해당하는 시설물은 총 43,501개로

전체의 66.66%를 차지한다. 즉, 시설물 100개 당 67개는 애초의 등급이 현재까지 유지되었다고 볼 수 있다. 등급이 유지되었거나 상승한 시설물은 전체의 71.63%로, 시설물 100개 당 72개는 현재 등급이 애초의 등급과 같거나 상승한 것으로 분석되었다. 등급이 1단계 하락한 시설물은 17,989개로 전체의 27.57%를, 1등급이 상승한 시설물은 3,003개로 4.60%를 차지하였다. 그 외에 2등급 이상 상승한 시설물은 239개(0.37%)이고, 2등급 이상 하락한 시설물은 525개(0.80%)인 것으로 나타났다.

4.3.2 시설물별 등급변화

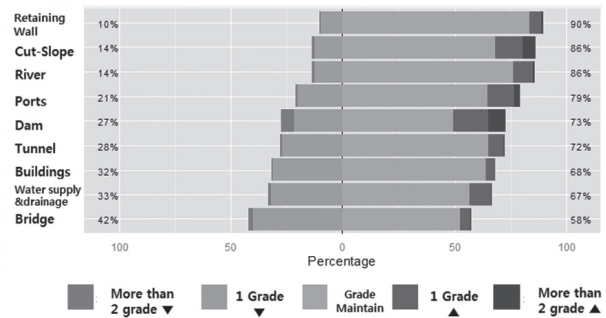


Fig. 5. Facility maintenance performance per facility type

전체적으로 등급유지 항목이 차지하는 비중이 가장 큰 것으로 분석되었는데, 적게는 49%(담)에서 많게는 84%(옹벽)를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 시설물 중 등급상승 비율이 매우 높은 순서로는 담>절토사면>항만으로 나타났고, 시설물별 비율을 표기하면 ① 담(23.42%), ② 절토사면(18.02%), ③ 항만(14.35%), ④ 하천(10.18%), ⑤ 상하수도(9.77%), ⑥ 터널(7.40%), ⑦ 옹벽(6.13%), ⑧ 교량(5.41%), ⑨ 건축물(4.27%) 순이다.

반면 등급하락비율이 매우 높은 순서로는 교량>상하수도>건축물로 나타났으며, 시설물별 등급하락비율을 표기하면 ① 교량(42.21%), ② 상하수도(33.36%), ③ 건축물(31.82%),

Table 6. Changes in classification per facility type

Grade Change	Buildings	Bridge	Dam	Water supply & drainage	Retaining Wall	Cut-slope	Tunnel	River	Seaport	Unknown	Total
4 grade ▲	1	2			1					1	5
3 grade ▲		3	4		2					4	13
2 grade ▲	38	42	35	4	5	22	10	12	8	45	221
1 grade ▲	1656	414	83	126	51	47	160	139	36	291	3,003
grade maintain	25,393	4,462	256	757	806	261	1,493	1,127	198	8,748	43,501
1 grade ▼	12,466	3,409	112	430	97	48	617	188	62	560	17,989
2 grade ▼	172	186	30	13	1	5	17	17	2	66	509
3 grade ▼	2	1	1	1				1		9	15
4 grade ▼										1	1
Total	39,728	8,519	521	1,331	963	383	2,297	1,484	306	9,725	65,257

④ 터널(27.60%), ⑤ 댐(27.45%), ⑥ 항만(20.92%), ⑦ 하천(13.88%), ⑧ 절토사면(13.84%), ⑨ 옹벽(10.18%) 순이다.

반면 교량은 등급하락 비율이 42.21%로 시설물 중 하락 비율이 가장 높은 것으로 나타났으며, 33.36%가 하락한 상하수도와 31.82%가 하락한 건축물이 뒤를 잇고 있다. 등급하락 비율이 높은 순으로 나열하면 ① 교량(42.21%), ② 상하수도(33.36%), ③ 건축물(31.82%), ④ 터널(27.60%), ⑤ 댐(27.45%), ⑥ 항만(20.92%), ⑦ 하천(13.88%), ⑧ 절토사면(13.84%), ⑨ 옹벽(10.18%) 순이다.

Fig. 5는 등급변화 항목별 비율을 나타낸 것으로 중앙의 세로선을 기준으로 우측은 등급이 유지되었거나 상승한 비율이고, 왼쪽은 등급이 하락한 비율이다. 등급유지의 경우도 시설물 안전 및 유지관리 활동의 성과로 인정할 수 있으므로 등급유지와 등급상승을 하나로 묶어 시각화하였다. 이를 통해 시설물별 등급변화 현황을 직관적으로 이해할 수 있다. 등급이 유지되었거나 상승한 비율이 높은 순으로 나열하면 ① 옹벽(89.82%), ② 절토사면(86.16%), ③ 하천(86.12%), ④ 항만(79.08%), ⑤ 댐(72.55%), ⑥ 터널(72.40%), ⑦ 건축물(68.18%), ⑧ 상하수도(66.64%), ⑨ 교량(57.79%) 순으로 나타났다. 옹벽은 등급이 하락한 시설물 비율이 10%에 불과한 것으로 나타난 반면 교량은 42%가 등급이 하락한 것으로 분석되었다.

시설물 중 건축물의 비중이 약 70%를 차지하기 때문에 건축물과 사회기반시설로 구분하여 등급변화의 분포를 살펴본다(Table 7). 건축물의 경우 등급상승 비율이 4.27%이고, 사회기반시설은 7.63%로 사회기반시설의 등급상승 비율이 높은 것으로 나타났다. 그러나 등급유지 및 상승 비율을 보면, 건축물이 68.18%, 사회기반시설은 66.86%로 두 그룹 간 뚜렷한 차이점은 발견할 수 없었다. 또한 Fig. 7에서도 나타듯 건축물은 9개 시설물군 중 7번째로 등급 상승효과가 좋은 것으로 분석되었다. 건축물은 공동주택과 같이 민간 영역에서 자체 비용으로 유지관리를 수행하는 경우가 많아 등급 상승효과가 타 시설물군보다 우수할 것이라는 예상을 뒤엎는 결과라 할 수 있다.

Table 7. Changes in classification for buildings and infrastructure

Grade Change	Buildings		Infrastructure	
	Percentage	Cumulative Percentage	Percentage	Cumulative Percentage
At least 2 grade ▲	0.10%	0.10%	0.95%	0.95%
1 grade ▲	4.17%	4.27%	6.68%	7.63%
grade maintain	63.92%	68.18%	59.23%	66.86%
1 grade ▼	31.38%	99.56%	31.40%	98.26%
At least 2 grade ▼	0.44%	100.00%	1.74%	100.00%

4.3.3 시설물 종별 등급변화

시설물 종별로 구분하여 보면 1종에 비해 2종 시설물 안전

및 유지관리 성과가 우수한 것으로 나타났다(Fig. 6). 등급유지 비율이 1종과 2종 시설물 각각 52.51%와 63.92%를 차지하였다. 또한 등급이 유지되었거나 상승한 비율은 1종 시설물이 57.02%로 2종 시설물의 69.23%보다 약 12%p 낮은 것으로 나타났다. 등급이 하락한 비율은 1종과 2종이 각각 47.49%와 36.08%로 분석되었으며, 2등급 이상 하락한 비율은 1종 시설물이 1.82%로 2종 시설물의 0.67%보다 높게 나타났다.

Table 8. Current changes in classification per type

Grade Change	Building facilities (Type 1)		Civil infrastructure (Type 2)	
	Percent	Cumulative Percent	Percent	Cumulative Percent
More than 2 grade ▲	0.34%	0.34%	0.34%	0.34%
1 grade ▲	4.27%	4.61%	4.96%	5.31%
grade maintain	52.41%	57.02%	63.92%	69.23%
1 grade ▼	41.15%	98.18%	30.10%	99.33%
More than 2 grade ▼	1.82%	100.00%	0.67%	100.00%

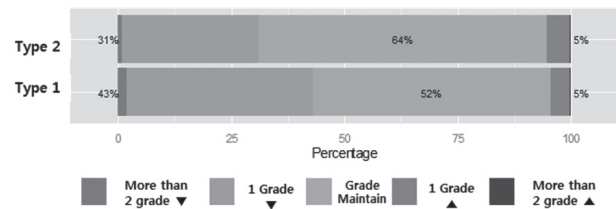


Fig. 6. Distribution of grade change ratio

4.3.4 연도별 등급비율 변화

Table 9. Number of facilities by safety grade (KISTEC 2014)

Year	A	B	C	D	E	Total ³⁾
1995	22	45	27	9	1	104
1996	98	132	93	19	2	344
1997	206	268	158	33	9	674
1998	289	594	173	42	1	1,099
1999	1,045	2,636	381	69	4	4,135
2000	2,470	5,306	877	138	12	8,803
2001	3,147	7,289	1,207	147	17	11,807
2002	5,358	8,628	1,664	279	16	15,945
2003	4,043	9,322	2,062	366	26	15,819
2004	5,419	10,044	2,000	147	16	17,626
2005	4,508	10,481	2,072	109	6	17,176
2006	5,228	11,337	1,620	76	7	18,268
2007	3,448	12,704	1,576	71	5	17,804
2008	4,407	14,612	1,567	59	6	20,651
2009	2,069	13,599	991	28	5	16,692
2010	3,857	14,403	1,109	56	4	19,429
2011	1,543	16,537	1,106	50	3	19,239
2012	2,106	16,939	857	36	1	19,939
2013	3,319	17,647	1,249	54	2	22,271
2014	435	8,822	365	18	-	9,640
Total	53,017	181,345	21,154	1,806	143	257,465

3) 여기서 합계는 당해 연도에 수행된 정밀점검 횟수를 의미함.

Table 9는 연도별 안전등급을 부여받은 시설물의 개수를 보여준다. 1995년부터 2013년까지 매년 평균 약 13,000회의 정밀점검 및 정밀안전진단이 실시된 것으로 나타났다. 2001년부터는 10,000건 이상, 2013년부터는 20,000건 이상의 등급이 부여되었다. 이것은 시설물스톡에 비례하여 등급 부여 횟수도 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

물론 FMS가 2003년에 구축되어 운영되기 시작해 그 이전의 데이터는 유실의 가능성이 있을 것으로 사료된다. 따라서 2003년 이전의 분석 결과 해석에는 주의가 필요하다. 우선 2003년 이전까지 부여된 등급의 수는 42,911개로 한해 평균 5,364건의 등급이 부여된 것으로 나타났다. 2003년부터 2013년까지는 연평균 18,629건으로 총 204,914건의 등급이 부여되었다.

Fig. 7은 연도별 등급 비율 변화로 그 동안의 안전 및 유지관리 성과를 시각적으로 보여준다. 1995년 당시 등급은 104개의 시설물에 대해서 부여되었는데, 그 중 21.2%가 A등급을, 43.3%가 B등급을 부여받은 것으로 나타났다. 당시 C등급 이하의 시설물 비중은 35.6%에 달하였다. 반면 2013년에는 A등급이 14.9%, B등급이 79.2%를 차지하여 전체의 94.1%를 차지하기에 이르렀고, C등급 이하는 5.9%에 불과하였다.

2003년을 기준으로 하더라도 2003년에는 A 또는 B등급의 비중이 84.5%였으나 10년이 지난 2013년에는 94.1%로 약 10%p 증가한 것을 발견할 수 있다. 마찬가지로 C등급 이하는 10%p 감소하였다. 2003년 이후의 데이터는 신뢰성이 확보되었다고 가정한다면 그동안 안전점검과 보수보강활동을 통해 시설물의 안전등급을 유지시켰거나 상승시켰다는 해석이 가능하다.

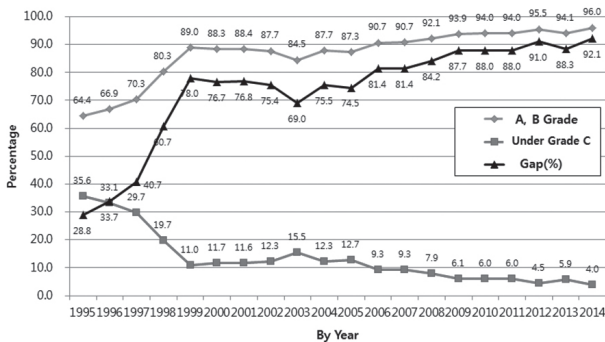


Fig. 7. Trend of ratio of good and bad grades (KISTEC 2014)

5. 시설 안전성 평가에 관한 고찰

본 논문은 시설물의 안전등급 변화를 바탕으로 그 동안의 유지관리 활동을 평가하였다. 분석 결과 우리나라 1, 2종 시설물의 안전성은 상당히 높은 것으로 나타났다. 또한 이렇게 안전성이 높아진 것은 정기적인 안전점검과 그에 따른 보수·보강 활동의 결과로 풀이된다.

본 논문은 다음과 같은 한계를 갖고 있으며, 이를 위한 추가적인 연구가 필요하다. 첫째, 애초의 등급과 가장 최근의 것만을 비교했기 때문에 중간에 발생한 유지보수 활동에 대한 고려가 누락되었다. 애초의 등급이 B이고 가장 최근의 등급이 A라면 본 논문에 제시한 방법을 적용하면 이 시설물은 1등급 상승한 것으로 간주된다. 하지만 그 사이에 이 시설물이 B(애초)-C-A-B-C-A(가장 최근)의 과정을 거쳤다면 유지관리 성과는 단순히 “1단계 상승”으로는 충분하지 않은 측면이 있다. 즉, 과거와 비교한 현재의 상태보다는 과정을 평가할 방법론이 필요하다.

둘째, 본 논문에서 제시된 분석결과는 다양한 정황을 바탕으로 해석할 필요가 있다. 이를테면 대부분 신규시설물은 A 또는 B등급을 받는다. 그렇기 때문에 본 분석에서는 애초에 받은 등급 이상으로 좋아질 수 없는 제약이 따른다. 즉, 애초에 A등급을 받은 시설물은 등급이 유지되었거나 하락하였거나 중에 하나이다.

셋째, 본 연구는 FMS에 등록된 시설물을 대상으로 분석을 수행하였다. 따라서 논문에 제시된 결과물이 우리나라의 모든 시설물을 대표하지는 않는다. 다만 FMS는 시특법에 의해 관리되고 있기 때문에 공신력이 확보되어 있다는 점에서 분석 결과에 오류는 없을 것으로 예상된다. 보다 정확한 평가를 위해 향후 우리나라에 있는 모든 시설물을 대상으로 본 연구에서 제시한 유지관리 활동 평가 방법을 적용해볼 필요가 있을 것이다. 그러기 위해서는 우선 시특법 외에 의해 관리되고 있는 시설물을 통합 관리할 수 있는 정보시스템이 구축되어야 할 것이다.

본 연구를 통한 기대효과와 활용방안은 다음과 같다. 먼저 국내 주요 시설물 유지관리 분야에 대한 자료 조사 및 성과분석을 토대로 국가기본계획인 “시설물의 안전 및 유지관리 기본계획”을 수립, 개선 및 보완하기 위한 국가차원의 목표 및 비전 제시가 가능하다. 그리고 향후 국내 시설물의 유지관리 분야를 선진화하기 위한 실질적인 방안으로 연계가 가능하며, 또한 미래여건 및 패러다임 변화에 지속적으로 대응 가능한 유지관리 기반 구축에 토대가 될 것으로 예측된다. 최종적으로 이러한 기대효과를 통해 국가, 산업, 시장, 기업차원에서 시설물의 유지관리에 대한 정책방향을 수립하는 데 기초 자료로서의 활용이 가능할 것으로 기대된다.

6. 결론

우리나라는 점차 신규건설에 투자되는 재정이 줄어들고 있는 반면 기존의 시설물의 유지관리에는 상대적으로 높은 투자가 이루어지고 있다. 정부의 건설 정책 방향과 산업구조의 측면에서 볼 때 이 추세는 앞으로도 지속될 것으로 예상된다 (Choi and Park 2012). 이런 상황에서 시설물의 유지관리 활

동의 성과를 정량적으로 평가하는 것은 매우 의미 있는 작업으로 사료된다. 왜냐하면 과거에는 시설물의 유지관리가 체계적인 계획보다는 주어진 예산을 집행하는 수준에서 소극적으로 이루어졌다면, 관리해야 할 시설물의 수가 너무도 많아진 현재로서는 보다 구체적이고 적극적인 계획을 바탕으로 적극적인 유지관리가 이루어져야 하기 때문이다.

안전 및 유지관리 활동의 성과를 구체적으로 제시하는 것은 시설물의 유지관리 주체나 이를 사용하는 국민들에게 유용한 정보를 제공한다. 이런 사회적 상황에서 본 논문은 유지관리 활동의 성과를 평가할 수 있는 방법을 제시하여 그것에 근거하여 분석을 수행하였다. 평가 결과 그 동안의 시설물에 취해진 유지보수 활동으로 시설물의 안전도가 상당히 높아진 것으로 나타났다. 시설물별로 보면 댐의 유지관리 성과가 가장 우수한 것으로 나타난 반면 교량은 가장 미흡한 것으로 분석되었다. 또한 1종 시설물보다는 2종 시설물의 안전도가 더 높아진 것으로 나타났으며, 건축물과 사회기반시설로 대별했을 때는 뚜렷한 차이점을 발견할 수 없었다.

본 논문에서 제시하는 분석 결과는 시설물의 유지관리 정책 및 전략 수립에 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 이를테면 현재 어느 시설물군이 가장 시급한 보수·보강 작업이 필요한지 또는 향후 10년 안에 보수·보강이 가장 요구될 시설물군이 어떤 것인가를 결정하는 데 본 연구결과를 활용할 수 있을 것이다. 물론 등급 변화에 따른 세부 시설물 종류를 파악하기 위해서는 보다 구체적인 분석이 수행되어야 할 것이다.

본 연구에서 제시한 방법을 통해 현재 우리나라 시설물의 총체적인 안전성을 확인할 수 있고, 그것에 맞추어 안전 및 유지관리 정책을 수립할 수 있을 것으로 기대된다. 다만 현실적인 전략 수립을 위해 등급하락 비율이 높은 시설물군에 대한 원인 분석 내지는 그에 대한 대응 방안 수립에 관한 실증 연구가 수행되어야 할 것이다. 아울러 본 연구내용을 바탕으로 하여 향후 시설물의 총체적인 안전성을 예측할 수 있는 기법에 대한 분석적 방법에 대한 추가적인 연구가 뒤따라야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국시설안전공단(2014년)의 지원을 받아 수행한 연구결과의 일부임.

References

- ASCE. (2001). "2001 Report Card for America's Infrastructure." *American Society of Civil Engineers*.
- ASCE. (2003). "2003 Progress Report - An Update to the 2001 Report Card." *American Society of Civil Engineers*.
- ASCE (2005). "2005 Report Card for America's Infrastructure." *American Society of Civil Engineers*.
- ASCE (2009). "2009 Report Card for America's Infrastructure." *American Society of Civil Engineers*.
- ASCE (2013a). "2013 Report Card for America's Infrastructure." *American Society of Civil Engineers*.
- ASCE (2013b). "Failure to Act - The Impact of current infrastructure investment on America's economic future." *American Society of Civil Engineers*.
- Canadian Infrastructure Report Card Project Steering Committee (2012). Canadian Infrastructure Report Card Volume 1: 2012 Municipal Roads and Water Systems, *Canadian Infrastructure Report Card Project Steering Committee*.
- Chae, M. J., Lee, G., Kim, J. R., and Cho, M. Y. (2009). "Analysis of Domestic and International Infrastructure Asset Management Practices and Improvement Strategy." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 10(2), pp. 55-64.
- Chin, K-H., Chae, M. J., Lee, G., and Lee, K-S. (2009). "Infrastructure Asset Management Policy and Strategy Development." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 10(6), pp. 67-77.
- Choi, I. and Park, C. (2012). "Assessment and implications for the structural stage of development of the domestic construction industry." *The Bank of Korea Issue Paper Series*.
- Choi, S-K., Park, C-J., and Kim S-G. (2010). "A Study on Accidents Occurred in Primary Schools and on the Experimental Test of the Safety of Building Floors." *Journal of Korean Institute of Educational Facilities*, 17(3), pp. 21-32.
- Chung, K-H, and Chung, J-W. (2000). "A Study on the Safety of Stairs for Multi-family Housing." *Journal of Architectural Institute of Korea*, 16(12).
- Development Bank of Southern Africa (2012). *The State of South Africa's Economic Infrastructure: Opportunities and challenges 2012*, Development Planning Division and Development Bank of Southern Africa.
- Engineers Australia (2010). *Australian Infrastructure*

- Report Card 2010*, Engineers Australia, Barton, ACT, Institution of Civil Engineers (2010). *The State of the Nation Infrastructure 2010*, Institution of Civil Engineers, U. K.
- Kang, S. and Lee, Y. (2013). "An Understanding of an Infrastructure Report Card of the Advanced Countries and its Implication in Korean Infrastructure Policies." *CERIK Research Report*, 2013-01.
- Kim, C-K., Hong G-H., and Gho, I-D. (2008). "Development Strategy for a Facilities Safety Management System Based on NGIS." *Journal of Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 21(5), pp. 505-513.
- Kim, D. (2013). "An Actual Condition and Alternative Tasks of Aging Infrastructure." Weekly economic review, *Hyundai Research Institute*.
- Korea Infrastructure Safety Corporation (2014). Facility Management System. (<http://www.fms.or.kr/>)
- Lee, S-K., Yu, J-H., and An, H-K. (2012). "Improvement of Information Collection System in Design and Construction Phases for Efficient Facility Management." *Journal of Architectural Institute of Korea*, 28(5), pp. 33-42.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (2014). "Special Act on the Safety Control of Public Structures enforcement ordinance"[2014.07.15.].
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (2015). "Special Act on the Safety Control of Public Structures." [2015.01.06.].
- National Council on Public Works Improvement (1988). "Fragile Foundation: A Report on America's Public Works." *National Council on Public Works Improvement*, U. S.
- So, J. H., Chung, Y. S., and Kim, Y. G. (2002). "Evaluation of the Seismic Safety of Concrete Gravity Dams." *Journal of Earthquake Engineering Society of Korea*, 6(1), pp. 33-41.

요약 : 최근 인프라 투자는 신규 건설 중심에서 기 시공된 시설의 효율적인 운영과 유지관리로 패러다임이 전환되고 있다. 이와 함께 시설물 노후화에 따른 안전에 대한 국민적 관심이 증폭되고 있다. 본 연구에서는 한국시설안전공단 시설물관리종합정보시스템에 등록되어 있는 1994년부터 2014년까지의 시설물 유지관리 관련 데이터를 바탕으로 점검진단지수와 보수보강지수 등의 정량적 분석 방법론을 적용하여 유지관리 활동의 성과를 평가하였다. 또한 과거에 비해 현재 시설물의 안전도가 어느 정도 향상되었는지 안전등급 데이터를 토대로 분석을 실시하였다. 분석 결과 우리나라 시설물의 안전성은 과거 대비 크게 향상된 것으로 나타났으며 안전성이 향상된 요인으로는 정기적인 안전점검과 그에 따른 보수 보강 활동의 결과로 추정해 볼 수 있다. 본 연구를 통해 도출된 결과는 향후 시설물의 유지관리 정책 및 전략 수립에서 기초적 자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

키워드 : 시설 안전, 유지관리 성과, 점검진단지수, 보수보강지수
