R&D / 05기반구축 A18-02

성능중심의 건설기술기준 개발 기본계획 수립

- 기본계획 수립 및 성능기준 작성지침 개발 -

연구보고서

2007. 12. 29.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
협동연구기관 / 대한건축학회
서울시립대학교 산학협력단
한국도로교통협회
동의대학교 산학협력단

건 설 교 통 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

건설교통부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 "성능중심의 건설기술기준 개발 기본계획 수립 - 기본계획 수립 및 성능기준 작성지침 개발 -"의 최종보고서로 제출합니다.

2007. 12. 29.

주관연구기관 : 한국건설기술연구원

원 장 정 낙 형

협동연구기관 : 대한건축학회

회 장 심 우 갑

협동연구기관 : 서울시립대학교 산학협력단

단 장 이 동 훈

협동연구기관 : 한국도로교통협회

회 장 권 도 엽

협동연구기관 : 동의대학교 산학협력단

단 장 윤 태 경

■ 총 괄 연 구 책 임 자

/ 수석연구원 구재동 연구총괄

■ 주관연구기관 참여연구원

/ 수석연구원 권수안 도로포장분야 성능기준 작성지침 개발 연구책임자

/ 선임연구원 김태송 성능기준 작성지침 개발 총괄

/ 연 구 원 김기현 도로포장분야 성능기준 작성지침 개발

/ 연 구 원 안덕순 도로포장분야 성능기준 작성지침 개발

/ 연구보조원 유진옥 연구총괄보조

■ 협동/위탁연구기관 참여연구원

/ 수석연구원	홍순조	건축물분야 성능기준 작성지침 개발 연구책임자
/ 수석연구원	이승재	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 수석연구원	서치호	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 수석연구원	최수경	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 수석연구원	지석원	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 수석연구원	김회서	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연 구 원	김상헌	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연 구 원	사순헌	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	박대오	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	곽재훈	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	김상균	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	임진혁	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	연현민	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	박승일	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	노태임	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	한세희	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	이한명	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	김기철	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	곽민희	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	김외정	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	서한기	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	이기세	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	김영호	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	박원규	건축물분야 성능기준 작성지침 개발
/ 수석연구원	이 송	구조물기초분야 성능기준 작성지침 개발 연구책임자
/ 수석연구원	양태선	구조물기초분야 성능기준 작성지침 개발
/ 수석연구원	이규환	구조물기초분야 성능기준 작성지침 개발
/ 수석연구원	박상국	구조물기초분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연 구 원	정진혁	구조물기초분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	노태길	구조물기초분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	정성윤	구조물기초분야 성능기준 작성지침 개발

/ 수석연구원	박광신	도로부대시설분야 성능기준 작성지침 개발 연구책임자
/ 수석연구원	조건창	도로부대시설분야 성능기준 작성지침 개발
/ 수석연구원	노성규	도로부대시설분야 성능기준 작성지침 개발
/ 선임연구원	박대근	도로부대시설분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연 구 원	김미애	도로부대시설분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연 구 원	여인수	도로부대시설분야 성능기준 작성지침 개발
/ 수석연구원	김상환	터널분야 성능기준 작성지침 개발 연구책임자
/ 수석연구원	신종호	터널분야 성능기준 작성지침 개발
/ 수석연구원	박인준	터널분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	이충환	터널분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	류인상	터널분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	오기열	터널분야 성능기준 작성지침 개발
/ 수석연구원	구본학	조경분야 성능기준 작성지침 개발 연구책임자
/ 수석연구원	김민수	조경분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	조운식	조경분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	장창희	조경분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	신동원	조경분야 성능기준 작성지침 개발
/ 수석연구원	박종일	건축기계설비분야 성능기준 작성지침 개발 연구책임자
/ 수석연구원	박 률	건축기계설비분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연 구 원	이지원	건축기계설비분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	박진영	건축기계설비분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	이영기	건축기계설비분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	김승오	건축기계설비분야 성능기준 작성지침 개발
/ 수석연구원	이광식	건축전기설비분야 성능기준 작성지침 개발 연구책임자
/ 연 구 원	최은혁	건축전기설비분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연 구 원	이창호	건축전기설비분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	김도석	건축전기설비분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	김영수	건축전기설비분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	이창훈	건축전기설비분야 성능기준 작성지침 개발
/ 연구원 보	이창욱	건축전기설비분야 성능기준 작성지침 개발

요 약 문

I. 제목

성능중심의 건설기술기준 개발 기본계획 수립 - 기본계획 수립 및 성능기준 작성지침 개발 -(2차년도)

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발 목적

본 연구의 목적은 도로포장 분야의 성능기준(품질보증기준, 지불규정)의 개발방향, 초안, 작성방법, 작성시 고려사항, 실용화 및 운영방안 등 성능기준 작성지침을 개발하고, 건축물, 구조물기초, 도로부대시설, 터널, 조경, 건축기계설비, 건축전기설비 분야에 대한 성능기준의 개념 및 특성, 개발대상 및 범위, 접근 및 개발방법 등을 포함한 성능기준 작성지침을 제시함으로써, 향후 시설물별로 효과적으로 성능기준을 개발하기 위함이다.

2. 연구개발 필요성

성능중심의 건설기술기준을 개발하여 공사계약에 적용함으로써 시설물의 품질 및 성능을 향상시킬 수 있고, 설계 및 시공자의 기술개발을 유도가 가능하다. 또한 시설물의 품질향상을 통해 시설물에 대한 유지관리 비용 및 생애주기비용(LCC) 절감이 가능하다.

시설물의 안전성을 확보하고 시설물의 사용성능(공용성)을 향상시키며, 최적공사비를 적용하기 위해서는 성능기반의 설계 개념의 도입이 필요하다. 또한 국제표준으로 나아가고 있는 성능중심의 건설기술기준을 개발함으로써 설계 및 시공 기술에서 세계 시장에서 국제 경쟁력을 확보할 수 있다.

이러한 성능중심의 건설기술기준을 개발하기 위해서는 이를 위한 기초 연구로서

시설물별로 성능기준의 개념 및 특성을 정립하며, 시설물별 성능기준 개발 대상 및 범위를 설정하고, 시설물별 성능기준을 개발 및 접근 방법을 제시하는 등 성능중심의 건설기술기준 작성지침을 개발하는 것이 필요하다.

III. 연구개발 내용 및 범위

전체 연구의 연도(단계)별 연구 목표 및 내용은 다음과 같다. 본 연구는 전체 연구의 2차년도 연구이다.

연 차	연구 목표	주요 내용 및 범위
1차연도 (2006)	○ 성능중심의 건설기술기준 개발 기본계획 수립	- 국내외 성능기준 현황 조사 분석 - 재료별, 시설별 성능기준 개발 기본계획 수립 · 로드맵(TRM) 작성 포함 - R&D사업 기획보고서 작성
2차연도 (2007)	○ 도로포장분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 제시	- 선진국의 성능기준 작성지침 분석 - 도로포장분야 성능기준 작성지침 제시
	○ 기타시설물 분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발 (건축물, 구조물기초, 도로부대시설, 터널, 조경, 건축기계설비, 건축전기설비 분야)	- 시설물별 성능기준 개념 및 특성 정립 - 시설물별 성능기준 개발 대상 및 범위 설정 - 시설물별 성능기준 개발을 위한 접근방법 및 개발방법 도출 - 시설물별 성능기준 작성지침 개발

IV. 연구개발결과

1. 도로포장분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 제시

도로포장분야의 경우, 유럽, 미국, 일본 등의 국가에서는 포장의 성능에 근거한 보증제도, 지불규정 및 계약제도 등의 도입을 통해 포장 품질의 향상과 기술력 향상을 도모하고 있다. 본 연구에서는 국내 도로포장분야 성능기준(품질보증기준, 지

불규정)을 개발하기 위한 지침으로서 도로포장분야 성능기준의 개발방향, 초안, 작성방법, 작성시 고려사항, 실용화 및 운영방안을 제시하였다. 현재 도로포장분야 성능기준 개발연구가 추진 중이다.

2. 건축물분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발

본 연구는 선진국의 사례 및 국내 환경의 조사, 분석을 통해 국내 여건에 적합한 성능중심의 건축기술기준 개념 및 특성을 정립하고 성능기술기준의 개발대상 및 범위를 설정한 후, 이를 토대로 건축물분야의 성능중심의 기술기준개발을 위한 접근방법 및 개발절차를 도출, 제시하는데 그 목적이 있다. 따라서 본 연구는 성능중심의 건설기술기준의 개발을 위한 토대를 제공하는 한편, 장기적으로 보다 선진화된 성능중심 건설제도의 확립에 기여할 것이다.

3. 구조물기초분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발

본 연구에서는 구조물 기초와 관련된 시설물별로 국내외 성능기준 현황 및 개발동향을 조사, 분석함으로써 시설물별로 성능기준의 개념 및 특성을 정립하였고, 시설물별 성능기준 개발 대상 및 범위를 설정하였다. 그리고 시설물별 성능기준을 개발 및 접근 방법을 제시하는 등 시설물별 성능중심의 건설기술기준 작성지침을 제시하여 향후 시설물별 성능중심의 건설기술기준 개발시 지침으로 활용할 수 있도록 하였다.

4. 도로부대시설분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발

본 연구에서는 도로부대시설의 성능개념과 그 특성을 다루고 있다. 아울러 성능에 기반을 둔 기준 개발을 위한 효과적인 접근방법을 제시하였다. 도로이용자의 안전과 밀접한 관련이 있는 시설물을 중심으로 성능기준 작성지침을 개발하기 위해 다양한 도로부대시설 중에서 다재귀반사체(시선유도시설, 시인성 증진 안전시설, 노면표시, 도로표지), 조명시설, 차량방호안전시설, 미끄럼방지포장, 도로반사경, 낙석방지시설, 시인성증진안전시설(시선유도봉) 등을 선택하였다. 마지막으로 각각의 시설물에 대한 문제점을 분석하고 이를 바탕으로 성능기준을 작성하기 위한 지침을 개발하였다.

5. 터널분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발

본 연구는 현재 안정성 위주의 터널 설계 및 시공 방법을 보다 포괄적이고 세부적인 사항에 접목된 성능 중심 설계 및 시공으로 전환하기 위하여 수행되었다. 터널 성능기준을 확립하기 위하여 안정성, 사용성, 사회·환경성 등으로 분리하여 접근하였다. 또한 구조물의 장기적 관점에서의 성능 기준 개발을 위한 접근 방법으로 첫째, 재료별 핵심 성능, 둘째, 터널의 사용성 및 유지관리 핵심 성능 개발 기준 정립, 셋째, 시공성을 중심으로 한 성능개발을 중점적으로 제시하였다.

6. 조경분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발

성능중심의 건설기술기준에서 앞서가고 있는 일본, 미국, 독일 조경분야의 동향을 살펴본 것을 바탕으로 국내 조경분야에 적용 가능한 성능기준 및 성능시방의 작성 지침은 다음과 같다.

1. 조경분야의 성능기준은 요구성능과 성능평가기준으로 구성된다.
2. 성능시방을 적용하는 초기단계에서는 미국에서와 같이 기존의 시방서와 병행하여 사용할 수 있다.
3. 정량적인 성능평가가 어려운 경우에는 일본에서와 같이 성능평가지표에 의하여 평가를 할 수 있는 성능기준의 작성이 필요하다.
4. 열섬저감, 우수저류, 생물서식성능의 측정은 독일에서와 같이 조경분야에서 주요한 환경성능평가 방법이 될 수 있다.

7. 건축기계설비분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발

건축기계설비분야에서 성능기준개발목표는 국내기계설비분야에서의 성능중심 설계기준구축, 시공기술 성능기준 연구, 자재장비류의 성능기준 연구를 통한 국내건축설비 관련 기술자의 해외적응력배양과 국내 건설수준 품질향상이다. 건축기계설비분야에서 성능기준 개발대상은 국내외 성능중심의 건설기준분석에 의한 개선을 제안하고 작성기준을 개발하며, 국내에서 적용할 수 있는 성능중심 기준을 제정 및 정비하는 것이다. 이러한 연구를 수행하기 위하여 연구그룹을 시공연구팀, 엔지니어링 기술 연구팀으로 구성하여 건축기계설비의 각 기술분야별 전문가와 학계, 연구소, 관공서의 전문가로 구성된 조정위원회에서 각 분야별 의견을 조정하여 국내외

의 관련기준과 제도를 정리 분석하여 연구를 수행하는 방법을 제시하였다.

8. 건축전기설비분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발

건축물에 시설되는 전기설비에서 요구되는 핵심 성능은 신뢰성 성능, 에너지절약성 성능, 친환경성 성능, 내진성 성능, 생애주기비용 성능이 고려되어야 한다. 전기설비 시설물별로 핵심성능의 개념을 정립하고, 전기 관련 규정에서 정하고 있는 사항을 토대로 성능레벨을 도출한다. 이를 토대로 건축전기설비 설계기준 및 표준시방서를 성능 중심으로 개정하기 위한 지침을 개발하였다.

IV. 연구개발결과의 활용계획

본 연구의 결과로 정립 또는 설정된 시설물별 성능기준의 개념 및 특성, 시설물별 성능기준 개발 대상 및 범위, 시설물별 성능기준을 개발 및 접근 방법 등 시설물별 성능중심의 건설기술기준 작성지침은 "성능중심의 건설기준 표준화 - 도로포장 및 콘크리트구조물 중심 -" 연구단 과제에서 도로포장분야의 성능기준을 개발하기 위한 작성지침으로 활용될 예정이다. 또한 기타 시설물 분야에 대해서는 장기적으로 시설물별 성능중심의 건설기술기준 개발시 성능기준 작성지침으로 활용될 예정이다.

SUMMARY

I. Title

Master plans to develop performance-based design criteria and construction specifications - Master plans and manuals for writing performance criteria and specifications -(The second year)

II. Objectives and Necessities

1. Objectives

The objectives of the study are to develop 1) a manuals for writing performance specifications (warranty specifications and pay factors) of pavements, and 2) manuals for writing performance-based design criteria and construction specifications of buildings, structural foundations, road subsidiary facilities, tunnels, landscape architecture, building mechanical system and building electrical installations. The former includes examples of the first draft, considerations and cautions for writing specifications, practical usage of them, etc and the latter involves the concepts and characters of performance-based design criteria and construction specifications, the targets and scopes of development, the methods of approach and development, and etc..

2. Necessities

Developing and applying performance-based design criteria and construction specifications can improve the quality and performance of the facilities and lead engineers and constructors to develop new technologies. Also, the quality improvement, one of the benefits can reduce maintenance costs and life-cycle costs.

It is necessary to introduce performance-based design to secure the safety of

the facilities, to improve the performance of the facilities, and to apply optimum construction costs. Development of performance-based design criteria and construction specifications can also ensure the international competitiveness of the design and construction technologies in global markets.

The manuals for writing performance-based design criteria and construction specifications is the first step for developing performance-based design criteria and construction specifications, which contains the concepts and characters, the targets and scopes, methods of development and access, and etc. for each facility.

III. Overview and Scope

Targets and contents in each year(phase) of the total studies are as follows. This year is the second year of the studies.

Year	Target of the study	Principal contents and scopes of the study
1st year (2006)	ㅇ Master plan to develop performance-based design criteria and construction specifications.	- To investigate and to analyze performance-based design criteria and construction specifications of domestic and foreign countries. - To establish the master plan to develop performance-based design criteria and construction specifications of each materials and facilities. • To involve the technical road maps. - To prepare planning reports of R&D projects.
2nd year (2007)	ㅇ Manual for writing performance-based specifications of pavements.	- To analyze manual for writing performance specifications of advanced nations - To suggest the manual for writing performance specifications
	ㅇ Manual for writing performance-based design criteria and construction	- To establish the concepts of performance-based criteria and specifications.

	specifications of buildings, structural foundations, road subsidiary facilities, tunnels, landscape architecture, building mechanical system and building electrical installations.	- To set up the targets and scopes for developing performance-based criteria and specifications. - To deduce the methods to approach and to develop performance-based criteria and specifications. - To develop the manuals for writing performance-based criteria and specifications.

IV. Results

1. Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of pavements

Applying the warranty specification, pay factor and the contract based on the pavement performance leads the improvement of technology and performance of pavement in Europe, United States and Japan. As a result, the guide lines for developing performance specifications (warranty specification and pay factor) in pavement area were proposed as performance specification, example of first draft, consideration and caution for developing specification and how to practically use it in pavement area. Currently, research project is in the process of developing performance specification on pavement areas.

2. Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of buildings

This study aims at establishing the guidelines for the design of performance-based building construction system in Korea, with the limited focus on the design of steel structures, building materials and indoor environments in architecture. Extensive survey and investigation were carried out on various performance-based construction systems in advanced countries, concept and

characteristics of the system framework, prerequisites in introducing the system to the construction environment of Korea. The study included the analysis of contract system under the performance-based construction system. The results of the study provides a cornerstone for the development and introduction of performance-based construction system of architectural buildings, which will enhance the construction technology as well as system in our country.

3. Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of structural foundations

In this study, the current trends and development of the performance based design in Korea and overseas for different structural types, related to structural foundations, have been investigated and analyzed. The fundamental concept of the performance based design and characteristics for each structure have been identified and target foundation types and work scope for performance based design of each structural type have been established. In addition, basic concept and characteristic of the performance criterion for each structure have been proposed and a guideline for preparation of performance based design for each structural type has also been proposed. It is expected that the results from the current study can be utilized when standardizing construction technology based on the performance based design concept in the near future.

4. Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of road subsidiary facilities

Performance of road subsidiary facilities was defined and characterized, and an effective way to develope a performance based specification (PBS) has been described in this study. Factors affecting the safety of road users were considered in selecting target facilities: retroreflective utility, road lighting, vehicle safety features, skid-resistant pavement, safety mirror, rockfall preventive fence, reboundable guidepost. Finally, current issues related to operation of each facility were discussed and a guideline for PBS development

was provided.

5. Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of tunnels

This research was carried out to develop the performance criteria and specification for the design and construction method of tunnel. In order to specify the performance work, the research was carried out in three catalogues such as tunnel stability during/after construction, social environmental protection of nature, usability and maintenance of tunnel facilities and so on. In a long term base, it was suggested that advanced performance standard criteria of tunnel materials, performance specification of maintenance of tunnel and new construction methods.

6. Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of landscape architecture

The movement which made "performance" a keyword in landscape architecture was reviewed in Japan, America, German, the leading countries in performance-based regulatory system. Operational applications for performance-based standards and specification in South Korea are summarized as follows:

1. Performance standards in landscape architecture consist of performance requirements and performance evaluation standards.
2. In early stage, performance specifications can be used in company with descriptive specifications, as in America.
3. The establishment of performance standards that can be properly evaluated by assessment indicators is necessary in cases when quantitative evaluation is difficult, as in Japan.
4. Measurements of heat island alleviation, rainwater storage, life habitats performance can become important methods of environmental performance evaluation in landscape architecture, as in Germany.

7. Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of building mechanical system

The aim of this research is development of performance base design criteria, execution technology standard research and material and equipment performance standard research. Through this research we can achieve construction quality improvement. For carry out this research we will consist of execution and engineering technology research team. They will study domestic and over sea technical standards and find out prefer result

8. Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of building electrical installations

Key performance required in electrical installation is reviewed reliability, energy saving, protection of environment, earth-quake proof and life cycle cost performance. the conception of key performance by facility of electrical installation are analyzed and evaluated. In addition, performance level by facility is derived from criteria that prescribed in the electric regulations and laws. The results in this paper can be helpful when design criteria and standard specification of electrical installation are amended to performance.

V. Utilization Plan of Results

The established manuals for writing performance-based design criteria and construction specifications as a result of the study will be used as manuals to develop performance specifications of pavements in the "Standardization of Construction Specifications and Design Criteria based on Performance" project. Also, they will be used as manuals for writing performance-based design criteria and construction specifications for other facilities.

목 차

제 1 장 서론 ····· **1**

제 1 절 연구개발 목적 및 필요성 ····· **1**

1. 연구개발 목적 ····· 1

2. 연구개발 필요성 ····· 1

제 2 절 연구개발 범위 ····· **3**

1. 연구개발 최종 목표 ····· 3

2. 연도(단계)별 연구목표 및 내용 ····· 3

제 2 장 국내·외 기술개발 현황 ····· **4**

제 1 절 국내 기술개발 현황 ····· **4**

1. 도로포장분야 국내 기술개발 현황 ····· 4

2. 건축물분야 국내 기술개발 현황 ····· 4

3. 구조물기초 분야 국내 기술개발 현황 ····· 6

4. 도로부대시설 분야 국내 기술개발 현황 ····· 10

5. 터널분야 국내 기술개발 현황 ····· 11

6. 조경분야 국내 기술개발 현황 ····· 12

7. 건축기계설비 분야 국내 기술개발 현황 ····· 24

8. 건축전기설비 분야 국내 기술개발 현황 ····· 33

제 2 절 국외 기술개발 현황 ····· **49**

1. 도로포장분야 국외 기술개발 현황 ····· 49

2. 건축물분야 국외 기술개발 현황 ····· 80

3. 구조물기초 분야 국외 기술개발 현황 ····· 83

4. 도로부대시설 분야 국외 기술개발 현황 ····· 94

5. 터널분야 국외 기술개발 현황 ····· 96

6. 조경분야 국외 기술개발 현황 ····· 101
7. 건축기계설비 분야 국외 기술개발 현황 ····· 114
8. 건축전기설비 분야 국외 기술개발 현황 ····· 129

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 156

제 1 절 도로포장분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 제시 ····· 156
1. 도로포장분야 성능기준 작성지침 개발 개요 ····· 156
2. 도로포장분야 성능기준 작성지침 일반사항 ····· 157
3. 도로포장분야 시방서의 종류와 특징 ····· 163
제 2 절 건축물분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발 ····· 181
1. 건축물분야 성능기준 작성지침 개발 연구의 목표 ····· 181
2. 건축물분야 성능기준의 개념 및 특성 ····· 181
3. 건축물분야 성능기준 개발방향 도출 ····· 189
4. 건축물분야 성능기준 작성지침 ····· 211
제 3 절 구조물기초분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발 ····· 227
1. 구조물 기초 분야 선진국의 성능기준 작성지침 분석 ····· 227
2. 구조물 기초 분야 성능기준 작성지침 일반사항 ····· 232
3. 구조물 기초 분야 성능기준의 개념 및 특성 ····· 250
4. 구조물 기초 분야 성능기준 개발대상 및 범위 ····· 255
5. 구조물 기초 분야 성능기준 개발을 위한 접근방법 및 개발방법 ····· 256
제 4 절 도로부대시설분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발 ····· 263
1. 도로부대시설분야 성능기준의 개념 및 특성 정립 ····· 263
2. 도로부대시설분야 성능기준 개발 대상 및 범위 설정 ····· 266
3. 도로부대시설분야 성능기준 개발을 위한 접근방법 및 개발방법 도출 ····· 286
4. 도로부대시설분야 성능기준 작성지침(안) 개발 ····· 296
제 5 절 터널분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발 ····· 326
1. 터널분야 성능기준 개발방향 ····· 326
2. 터널분야 성능기준의 개념 및 특성 ····· 327

3. 터널분야 성능기준 개발 대상 및 범위 ····· 334
4. 터널분야 성능기준 개발을 위한 접근방법 및 개발방법 ····· 341
제 6 절 조경분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발 ····· 361
1. 조경분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 분석 ····· 361
2. 조경분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 ····· 366
3. 조경분야 성능기준의 개념 및 특성 ····· 369
4. 조경분야 성능기준 개발 대상 및 범위 ····· 372
5. 조경분야 성능기준 개발을 위한 접근방법 및 개발 방법 ····· 373
제 7 절 건축기계설비분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발 ····· 378
1. 성능기준의 개념 및 특성 ····· 378
2. 성능기준 개발 대상 및 범위 ····· 388
3. 성능기준 개발방법 ····· 391
4. 성능기준 작성지침 ····· 393
제 8 절 건축전기설비분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발 ····· 397
1. 건축전기설비분야 성능기준의 개념 및 특성 ····· 397
2. 건축전기설비분야 성능기준 개발 대상 및 범위 ····· 426
3. 건축전기설비분야 성능기준 개발을 위한 접근 방법 및 개발 방법 ····· 427
4. 건축전기설비분야 성능기준 작성 지침 ····· 431
제 9 절 콘크리트구조물분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발 ····· 435
제 10 절 강구조물분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발 ····· 436

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 437

제 1 절 연구개발 목표 달성도 ····· 437
제 2 절 관련 분야에의 기여도 ····· 437

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· 439

제 6 장 참고문헌 ····· 440

표 목 차

표 1.1 연차별 연구 목표 및 내용 ····· 3
표 2.1 국내 건축성능의 발전 과정 ····· 5
표 2.2 국내 성능설계 관련 연구과제 현황 ····· 9
표 2.3 비탈면 녹화목표 및 목표종 ····· 14
표 2.4 비탈면 녹화공법별 목표종 파종량 ····· 15
표 2.5 비탈면 녹화공법별 녹화기반재의 취부 두께(㎝) ····· 15
표 2.6 비탈면 녹화 시험시공 결과의 판정기준 ····· 17
표 2.7 비탈면 녹화 시험시공 결과의 평점표 ····· 18
표 2.8 중요도 분석에 의한 조경용포장재의 요구성능 선정 ····· 18
표 2.9 조경용포장재의 환경성능평가요소별 가중치 산정 ····· 19
표 2.10 조경용포장재의 환경성능평가 등급가준 ····· 20
표 2.11 조경용포장재의 환경성능 평가결과 ····· 21
표 2.12 건축기계설비 건설공사 기준 ····· 24
표 2.13 한국 설비기술 협회 규격현황 ····· 25
표 2.14 주택성능등급표시제도 평가항목 ····· 32
표 2.15 KS F ISO 6241(건축물 성능 표준, 2001)의 사용자 요구 조건 ····· 34
표 2.16 주택성능 등급 표시제도 ····· 36
표 2.17 필수 항목의 평가기준 ····· 44
표 2.18 평가 항목별 평가기준 ····· 45
표 2.19 가산 항목별 평가기준 ····· 47
표 2.20 미국의 주별 품질보증계약현황(ODOT, 1999) ····· 49
표 2.21 미국 각 주별 지불규정 사용현황 ····· 50
표 2.22 평가방법의 구분 - 평가대상 ····· 53
표 2.23 평가방법의 구분 - 성능지표 ····· 54
표 2.24 단계별 발주자의 역할 ····· 67
표 2.25 유럽 성능보증 프로그램의 개요 ····· 72
표 2.26 유럽과 미국 각 주별 품질보증 현황 ····· 73
표 2.27 도로포장 성능인자의 선정 예 ····· 77
표 2.28 도로포장 품질 평가기준 및 시정조치 예 ····· 78
표 2.29 오하이오, 미시시피, 인디애나 주의 분쟁조정방법 ····· 79

표 2.30 국외 건축성능의 발전 과정 ····· 81
표 2.31 성능설계와 상세규정의 비교 ····· 88
표 2.32 각 계약형식에 따른 위험 분배 형식 ····· 92
표 2.33 여러 외국의 설계기준에 따른 성능설계의 기술의 계층 ····· 97
표 2.34 간이형 종합평가 기술능력 심사항목 및 배점 ····· 110
표 2.35 민자유치사업 심사항목 및 배점 ····· 112
표 2.36 민자유치사업 심사기준 및 배점 ····· 113
표 2.37 CSI의 기계설비 현황 ····· 115
표 2.38 건축기계설비분야 적용관련 기준 ····· 116
표 2.39 IMC 현황 ····· 117
표 2.40 일본의 기계설비분야 기술기준 현황 ····· 118
표 2.41 일본 공조위생학회 규격 현황 ····· 119
표 2.42 설비 성능 관련 일본 공조위생학회 제정 및 연구 현황 ····· 120
표 2.43 BREEAM의 평가기준과 점수 ····· 121
표 2.44 LEED 인증을 위한 필수 선행조건 ····· 122
표 2.45 LEED의 평가기준과 점수 배점 ····· 122
표 2.46 4가지 평가 툴의 개요 ····· 124
표 2.47 CASBEE 구성 툴의 적용단계 ····· 124
표 2.48 평가항목(1) ····· 127
표 2.49 평가항목(2) ····· 127
표 2.50 건축 성능에 관련한 용어 정의 ····· 130
표 2.51 성능 관련 용어의 정의(영국 규격안, Harrison) ····· 131
표 2.52 상용전력의 절대 대책 ····· 137
표 2.53 보정계수 ····· 138
표 2.54 발전기 회로 부하 ····· 139
표 2.55 발전기 회로 부하(사무 청사 이외의 경우에서의 예) ····· 140
표 2.56 전력공급설비의 신뢰성 향상 대책 ····· 141
표 2.57 전기설비의 법정 내용연수 ····· 146
표 2.58 IEC 60364의 항목별 특징 비교 ····· 148
표 3.1 도로설계 관련 각종 기준 현황(2003년 11월 현재) ····· 163
표 3.2 건축성능에 관련한 용어 정의 (ISO, CIB, JIS 등) ····· 181
표 3.3 성능관련 용어의 정의 (영국 규격안, Harrison) ····· 182
표 3.4 인간의 요구에 대한 분류 항목(CIB W45) ····· 185
표 3.5 KS F ISO 6241 : 2001(건축물 성능 표준) 사용자 요구 조건 ····· 186

표 3.6 성능매트릭스의 예 ····· 191
표 3.7 성능평가 대상 ····· 192
표 3.8 각종 제안의 성능레벨의 비교 ····· 193
표 3.9 각국의 하중조합 비교 ····· 196
표 3.10 건물의 중요도 계수 ····· 196
표 3.11 각국의 밑면전단력 비교 ····· 196
표 3.12 주택성능등급표시제도의 성능 분류 ····· 200
표 3.13 지붕 공사의 목표 성능 ····· 203
표 3.14 건축물의 건축성능 평가기술발전 동향 (국내) ····· 206
표 3.15 CASBEE의 평가 툴의 개요 ····· 208
표 3.16 CASBEE 구성 툴의 적용단계 ····· 208
표 3.17 성능관련 국내 건축 법규 및 평가방법 현황 ····· 209
표 3.18 성능 기준의 조건 ····· 214
표 3.19 건축물 실내 환경 항목별 성능 분류 (예) ····· 223
표 3.20 음 환경의 사례 ····· 224
표 3.21 성능 레벨 설정 지표 ····· 224
표 3.22 사회기반시설을 위한 다차원 성능 매트릭스(유럽) ····· 227
표 3.23 설계 한계상태와 한계 상황(유럽) ····· 228
표 3.24 대표적인 설계하중과 빈도수(일본) ····· 229
표 3.25 극한 상태에 대한 권장 파괴확률(일본) ····· 229
표 3.26 구조물의 성능설계 요구조건 ····· 230
표 3.27 각 현장의 암반물성값(예) ····· 238
표 3.28 재하시험에 대한 극한지지력 산정 ····· 239
표 3.29 압밀 침하평가 모듈의 평가 정보(예) ····· 244
표 3.30 대표적 안전율(Meyerhof, 1995) ····· 246
표 3.31 강도정수에 대한 대표적인 부분계수((Meyerhof, 1995) ····· 246
표 3.32 설계 상태에 따른 요구성능 개념 ····· 247
표 3.33 설계조건 및 절차(Eurocode) ····· 247
표 3.34 설계 범위(Eurocode) ····· 248
표 3.35 설계 방법 ····· 248
표 3.36 성능설계와 시방규정의 비교 ····· 254
표 3.37 자동차와 건설의 비교 ····· 254
표 3.38 전체 한계상태 ····· 258
표 3.39 도로 기반시설 법령 현황 ····· 270

표 3.40 도로시설의 건설공사기준 ····· 271
표 3.41 도로부대시설이 포함된 기준 및 지침 ····· 273
표 3.42 성능기준 부대시설의 참조규격 및 문헌 ····· 277
표 3.43 시선유도표지의 반사성능 기준 ····· 278
표 3.44 갈매기표지의 반사성능 기준 ····· 278
표 3.45 표지병의 반사성능 기준 ····· 279
표 3.46 장애물 표적표지 반사체의 반사성능(노랑색) ····· 279
표 3.47 빗금표지의 노랑색 반사성능 ····· 279
표 3.48 시선유도봉 반사체의 반사성능 ····· 280
표 3.49 도로표지의 고휘도급 반사지 반사계수 ····· 280
표 3.50 도로표지의 초고휘도급 반사지 반사계수 ····· 280
표 3.51 노면표시의 반사성능 재도색 권장치 ····· 281
표 3.52 개정확인을 수행한 참조규격 및 문헌 ····· 287
표 3.53 전이구간에 대한 NCHRP Report 350의 성능기준 ····· 298
표 3.54 단부처리에 대한 NCHRP Report 350의 성능기준 ····· 299
표 3.55 도로반사경의 형식 ····· 302
표 3.56 도로반사경 성능평가 항목 ····· 304
표 3.57 영상의 정확도 판단 기준 ····· 304
표 3.58 KS규격(KS A 3701-1991) 운전자에 대한 도로 조명의 기준 ····· 306
표 3.59 운전자에 대한 조명 기준(도로안전시설 설치 및 관리 지침) ····· 307
표 3.60 KS규격(KS A 3701-1991) 보행자에 대한 도로 조명의 기준 ····· 307
표 3.61 각국의 도로조명 기준 특징 ····· 308
표 3.62 도로 및 교통의 종류에 따른 조명등급 분류(안) ····· 309
표 3.63 도로의 조명등급에 따른 노면휘도의 기준(안) ····· 310
표 3.64 도로의 표면과 반사특성(안) ····· 311
표 3.65 도로의 조명등급에 따른 노면조도의 기준(안) ····· 311
표 3.66 시선유도봉 반사체의 반사성능 ····· 314
표 3.67 미끄럼방지포장의 종류 ····· 315
표 3.68 최소 마찰계수 기준표 ····· 316
표 3.69 캐나다의 미끄럼 마찰계수 관리기준 ····· 318
표 3.70 영국의 최소 마찰계수 기준표 ····· 319
표 3.71 연구개발개요(낙석방지시설의 성능평가 기준연구 분야) ····· 322
표 3.72 다양한 낙석방지시설(낙석방지울타리)의 성능평가 시험방법 비교 ····· 324
표 3.73 국내 숏크리트 강섬유 관련 시방 및 기준 ····· 348

표 3.74 EFNARC의 에너지흡수등급 ····· 350
표 3.75 ASTM의 숏크리트 휨인성 기준 ····· 350
표 3.76 국외의 제반 숏크리트 인성 기준 ····· 350
표 3.77 Vandewalle (1991)이 제안한 강섬유보강 숏크리트의 인성 등급 ····· 351
표 3.78 EFNARC의 부착력 기준 (최소 기준) ····· 351
표 3.79 숏크리트 부착력에 대한 추천사항들 ····· 352
표 3.80 국외의 숏크리트 품질시험 항목 ····· 353
표 3.81 각국의 내화성능 기준 비교(N.P. Hoi, 2004) ····· 354
표 3.82 내화성능에 대한 PIARC 권고(PIARC, 1999) ····· 356
표 3.83 내화성능에 대한 ITA 권고 (ITA, 2004) ····· 357
표 3.84 공공청사의 기본적 성능 항목 ····· 361
표 3.85 공공청사의 지역성에 관한 성능평가 지표 ····· 362
표 3.86 공공청사의 경관성에 관한 성능평가 지표 ····· 363
표 3.87 녹화된 옥상의 강수, 유출, 최대 및 실제 증발산량, 증발 냉각율 측정결과 365
표 3.88 저류용량 및 빗물소요량에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과 값 ····· 365
표 3.89 건설산업기본법상 건축물과 산업설비 구분 ····· 379
표 3.90 설비의 개념분류 ····· 379
표 3.91 건축성능에 관련한 용어 정의 ····· 383
표 3.92 성능관련 용어의 정의 (영국 규격안, Harrison) ····· 383
표 3.93 인간의 요구에 대한 분류 항목(CIB W45) ····· 384
표 3.94 인간의 요구에 대한 분류 항목(KS F ISO 6241 : 2001(건축물 성능표준)) 385
표 3.95 전기설비의 요구 성능과 핵심 성능 ····· 398
표 3.96 부하의 중요도별 전력공급 구성방법 ····· 402
표 3.97 수변전실 장소 선정 관련 규정 ····· 404
표 3.98 울타리 시설 설치 관련 규정 ····· 405
표 3.99 경고 표시 시설 규정 ····· 406
표 3.100 조명 및 작업공간 관련 규정 ····· 406
표 3.101 화재방지에 관한 규정 ····· 406
표 3.102 LCC의 개념과 목적 ····· 417
표 3.103 평가 방법의 특징 비교 ····· 425
표 3.104 수변전설비의 검토항목별 핵심 성능 ····· 428
표 3.105 전기설비의 시설물별 신뢰성 성능 평가 항목 ····· 428
표 3.106 변전설비와 간선설비의 시설물별 신뢰성 성능 평가 항목 ····· 429
표 3.107 비상전원설비의 시설물별 신뢰성 성능 평가 항목 ····· 429

그 림 목 차

그림 2.1 친환경 건축물 인증제도 운영시스템 ····· 29
그림 2.2 건물에너지 효율 등급 인증절차 ····· 31
그림 2.3 주택성능등급 제도 개요 ····· 35
그림 2.4 주택성능등급의 개념도 ····· 36
그림 2.5 에너지절감율 산출 방법 ····· 39
그림 2.6 등급 판정의 기준 ····· 43
그림 2.7 미국 도로공사 성능보증계약방식 적용 현황(Russell) ····· 50
그림 2.8 균열율 20%의 예 ····· 55
그림 2.9 나눗셈방식에 의한 평가치의 등고선 ····· 58
그림 2.10 덧셈방식에 의한 평가치의 등고선 ····· 58
그림 2.11 나눗셈방식에 의한 입찰률과 평가치의 관계 ····· 59
그림 2.12 덧셈방식에 의한 입찰률과 평가치의 관계 ····· 59
그림 2.13 가산점을 크게 해서 최우수기술제안자가 낙찰자가 되는 비율 ····· 60
그림 2.14 공사규모와 과제의 난이도에 따른 발주자에 요구되는 기술력 ····· 68
그림 2.15 포장 평탄성에 따른 지불금액 사례(독일) ····· 70
그림 2.16 유럽 각국의 품질보증제도 ····· 71
그림 2.17 건설프로세스 상 적용범위 ····· 72
그림 2.18 성능설계에 관한 WTO/TBT 조약 ····· 83
그림 2.19 성능설계기준의 세계적 동향 ····· 84
그림 2.20 Geocode 21의 성능설계 개념 ····· 91
그림 2.21 발주자, 설계시공 일괄계약자 및 감리자의 관계 ····· 93
그림 2.22 독일의 시스템 ····· 94
그림 2.23 NKB Level System (NKB 레벨의 계층도) ····· 97
그림 2.24 잔디주차장 추진사업 순서 ····· 107
그림 2.25 간이형 종합평가방식의 실시순서 ····· 110
그림 2.26 민자유치사업 심사의 순서 ····· 112
그림 2.27 전등부하의 보정계수 ····· 134
그림 2.28 동력부하의 보정계수 ····· 135
그림 2.29 독일의 전기공사 입찰, 계약 시스템 ····· 150
그림 3.1 1차 시범사업의 추진계획 ····· 161

그림 3.2 도로시설 및 설계·시공 제 기준의 체계 ····· 163
그림 3.3 성능지향형 기술기준의 계층모델 ····· 197
그림 3.4 강구조 건축물의 목표구조성능 ····· 199
그림 3.5 한계상태설계법의 응답치와 한계치의 개념 ····· 199
그림 3.6 재료선정의 개략적인 단계 ····· 204
그림 3.7 재료선정 프로세스 ····· 205
그림 3.8 건축물의 성능기준 개발 프로세스 ····· 205
그림 3.9 실내 환경 분야 성능 개발 프로세스 ····· 211
그림 3.10 성능기준체계 ····· 213
그림 3.11 건축물의 기능별 성능레벨 설정 방법 ····· 216
그림 3.12 성능레벨의 도출 ····· 217
그림 3.13 내화성능기준 개발 도출 ····· 218
그림 3.14 건축물의 부위별 분류 ····· 220
그림 3.15 성능매트릭스의 구성 ····· 221
그림 3.16 성능평가항목별 적정 평가 시험방법 도출 ····· 222
그림 3.17 미끄럼 방지성의 설계지침 도출과정 ····· 223
그림 3.18 바닥 경량충격음의 설계지침 도출과정 ····· 225
그림 3.19 성능설계 개념 ····· 230
그림 3.20 구조물의 손상 초과확률 ····· 232
그림 3.21 방파제의 성능설계 예 ····· 231
그림 3.22 설계치 결정을 위한 절차 ····· 232
그림 3.23 특성치의 정의 (Becker, 2006) ····· 233
그림 3.24 GIS-ANN 기반의 연약지반 설계 정보화 시스템 개념도 ····· 242
그림 3.25 데이터베이스 항목 ····· 243
그림 3.26 GIS-ANN 연계 연약지반 설계평가 개념도 ····· 245
그림 3.27 강도 및 안정에 대한 극한상태 ····· 248
그림 3.28 성능설계 시스템 ····· 252
그림 3.29 사회기반구조물의 성능설계 시스템 ····· 253
그림 3.30 도로부대시설의 특성 ····· 265
그림 3.31 건설공사기준의 구성 체계 ····· 268
그림 3.32 도로시설 및 설계 • 시공 제 기준의 체계 ····· 268
그림 3.33 안전시설물의 개발 절차 및 방법 ····· 289
그림 3.34 일본 포장분야에 적용된 성능기준 개념 ····· 290
그림 3.35 전통적인 사양 중심 체계에서 성능 중심 체계로의 전환 ····· 290

그림 3.36 Performance Criterion 절차 기본 구조 ····· 291
그림 3.37 성능 중심의 기준 개발 ····· 292
그림 3.38 성능 중심의 국제건축법 구조 ····· 293
그림 3.39 도로부대시설 성능기준 개발방법 ····· 294
그림 3.40 성능기준 개념 정의 절차 ····· 295
그림 3.41 차량방호 안전시설의 단부처리 및 전이구간 성능기준 작성지침 ····· 299
그림 3.42 반사성능의 최소 성능기준 작성지침 ····· 301
그림 3.43 도로반사경의 성능기준 작성지침 ····· 305
그림 3.44 도로조명시설의 성능기준 작성지침 ····· 312
그림 3.45 시선유도봉의 설치 및 파손 예시 ····· 314
그림 3.46 이격식 미끄럼방지포장의 설치 형상(1-3, 3-6 방식) ····· 317
그림 3.47 미끄럼방지포장의 성능중심 개발 방향 ····· 320
그림 3.48 낙석방지시설 성능평가 연구 로드맵 ····· 322
그림 3.49 요구성능의 계층 ····· 330
그림 3.50 터널구조물 성능 개념도 ····· 338
그림 3.51 EFNARC의 잔류강도등급 ····· 349
그림 3.52 조기재령 숏크리트 강도 기준(Austrian Sprayed Concrete Guideline, 1999) ····· 353
그림 3.53 터널에 대한 다양한 온도이력곡선 ····· 358
그림 3.54 녹화된 옥상 표면의 온도 저감 효과- 기존 옥상과의 비교 ····· 365
그림 3.55 연구수행 추진체계 ····· 392
그림 3.56 연구단계별 로드맵 ····· 393
그림 3.57 전원시스템의 신뢰도 향상을 위한 단선도 ····· 400
그림 3.58 에너지효율관리제도 현황 ····· 408
그림 3.59 건축전기설비 에너지효율 강화 개념도 ····· 409
그림 3.60 환경 보전 성능의 필요성 ····· 410
그림 3.61 소형 풍력발전 ····· 414
그림 3.62 태양광발전시스템 ····· 414
그림 3.63 연료전지발전시스템 ····· 414
그림 3.64 친환경 전기설비의 요구 성능 ····· 415
그림 3.65 내진성의 필요성 ····· 416
그림 3.66 관련 법령 및 기준의 체계 ····· 426
그림 3.67 전력용 변압기의 핵심성능 평가 및 생애주기비용 평가 사례 ····· 430

TABLE OF CONTENTS

Chapter 1 Introduction ····· **1**

Section 1 Objectives and necessities ····· 1

1. Objectives ····· 1
2. necessities ····· 1

Section 2 Scope ····· **3**

1. Goals ····· 3
2. Annual goals and scopes ····· 3

Chapter 2 State of the Domestic and international technological development ····· **4**

Section 1 State of the domestic and international technological development ····· 4

1. Pavements ····· 4
2. Building ····· 4
3. Structural foundations ····· 6
4. Road subsidiary facilities ····· 10
5. Tunnels ····· 11
6. Landscape architecture ····· 12
7. Building mechanical system ····· 24
8. Building electrical installations ····· 33

Section 2 State of the international technological development ····· **49**

1. Pavements ····· 49
2. Building ····· 80
3. Structural foundations ····· 83
4. Road subsidiary facilities ····· 94
5. Tunnels ····· 96
6. Landscape architecture ····· 101
7. Building mechanical system ····· 114

8. Building electrical installations ····· 129

Chapter 3 Results ····· 156

Section 1 Manual for writing performance-based specifications in pavement area 156

1. Outline of the manual for writing performance-based specifications in pavement area ····· 156
2. General contents of the manual for writing performance-based specifications in pavement area ····· 157
3. Types and characteristic of specifications in pavement area ····· 163

Section 2 Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of buildings ····· 181

1. Goals for developing the manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of buildings ····· 181
2. Concepts and character of performance-based design criteria and construction specifications of buildings ····· 181
3. Directions for developing the performance-based design criteria and construction specifications of buildings ····· 189
4. Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of buildings ····· 211

Section 3 Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of structural foundations ····· 227

1. Analyze manuals for writing performance-based design criteria and construction specifications of buildings in advanced countries ····· 227
2. General contents of the manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of structural foundations ····· 232
3. Concepts and character of performance-based design criteria and construction specifications of structural foundations ····· 250
4. Objects and scope for developing the performance-based design criteria and construction specifications in structural foundation area ····· 255
5. Methods to approach and develop the performance-based design criteria and construction specifications in structural foundation area ····· 256

Section 4 Manual for writing performance-based design criteria and construction

specifications of road subsidiary facilities ····· **263**
1. Concepts and character of performance-based design criteria and construction specifications of road subsidiary facilities ····· 263
2. Objects and scope for developing the performance-based design criteria and construction specifications in road subsidiary facility area ····· 266
3. Methods to approach and develop the performance-based design criteria and construction specifications in road subsidiary facility area ····· 286
4. Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of road subsidiary facilities ····· 296

Section 5 Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of tunnels ····· **326**
1. Directions for developing the performance-based design criteria and construction specifications of tunnels ····· 326
2. Concepts and character of performance-based design criteria and construction specifications of tunnels ····· 327
3. Objects and scopes for developing the performance-based design criteria and construction specifications in tunnel area ····· 334
4. Methods to approach and develop the performance-based design criteria and construction specifications in tunnel area ····· 341

Section 6 Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of landscape architecture ····· **361**
1. Analyze manuals for writing performance-based design criteria and construction specifications of landscape architecture ····· 361
2. Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of landscape architecture ····· 366
3. Concepts and character of performance-based design criteria and construction specifications of landscape architecture ····· 369
4. Objects and scopes for developing the performance-based design criteria and construction specifications in landscape architecture area ····· 372
5. Methods to approach and develop the performance-based design criteria and construction specifications in landscape architecture area ····· 373

Section 7 Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of building mechanical system ····· **378**
1. Concepts and character of performance-based design criteria and construction

specifications of building mechanical system ····· 378
2. Objects and scopes for developing the performance-based design criteria and construction specifications in building mechanical system area ····· 388
3. Methods to develop the performance-based design criteria and construction specifications in building mechanical system area ····· 391
4. Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of building mechanical system ····· 393
Section 8 Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of building electrical installations ····· 397
1. Concepts and characteristics of performance-based design criteria and construction specifications of building electrical installations ····· 397
2. Objects and scopes for developing the performance-based design criteria and construction specifications in building electrical installation area ····· 426
3. Methods to approach and develop the performance-based design criteria and construction specifications in building electrical installation area ····· 427
4. Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of building electrical installations ····· 431
Section 9 Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of concrete structures ····· 435
Section 10 Manual for writing performance-based design criteria and construction specifications of steel structures ····· 436

Chapter 4 Accomplishment of the research goals and contributions ····· 437

Section 1 Accomplishment of the research goals ····· 437
Section 2 Contributions ····· 437

Chapter 5 Application plan of the results ····· 439

Chapter 6 References ····· 440

LIST OF TABLES

Table 1.1 Objects of research and contents ····· 3
Table 2.1 Development of performance concept of buildings in Korea ····· 5
Table 2.2 Status of domestic research project ····· 9
Table 2.3 Slope revegetation objectives and target species ····· 14
Table 2.4 Target species and seeding rates by the construction types of slope revegetation ····· 15
Table 2.5 Thickness of hydroseeding mixtures by the construction types of slope revegetation ····· 15
Table 2.6 Evaluation standard on field test of the revegetation construction ····· 17
Table 2.7 Evaluation result on field test of the revegetation construction ····· 18
Table 2.8 Performance requirements selection of the landscape pavement by importance analysis ····· 18
Table 2.9 Weight calculation of environmental performance evaluation items in the landscape pavement ····· 19
Table 2.10 Rating Tabulation System for environmental performance evaluation in the landscape pavement ····· 20
Table 2.11 Result of environmental performance evaluation in the landscape pavement · 21
Table 2.12 The standards of building mechanical system construction in Korea. ····· 24
Table 2.13 The state of K.A.R.S.E. technical standards. ····· 25
Table 2.14 Items of housing performance grade evaluation. ····· 32
Table 2.15 Requirement Condition of a User in KS F ISO 6241 ····· 34
Table 2.16 Good Housing ····· 36
Table 2.17 Assessment Criteria of a Required Items ····· 44
Table 2.18 Assessment Criteria by an Assessment Items ····· 45
Table 2.19 Assessment Criteria by an Added Items ····· 47
Table 2.20 Status of warranty contract in U.S.(ODOT, 1999) ····· 49
Table 2.21 Status of pay factor in U.S.(ODOT, 1999) ····· 50
Table 2.22 Types of evaluation methods by performance object ····· 53
Table 2.23 Types of evaluation methods by performance indicator ····· 54
Table 2.24 Role of orderer in each stage ····· 67
Table 2.25 Outline of warranty program in Europe ····· 72
Table 2.26 Status of warranty in Europe and U.S. ····· 73
Table 2.27 Example for selection of performance indicators ····· 77
Table 2.28 Example for performance evaluation criteria and correction actions ····· 78
Table 2.29 Trouble settlement system in Ohio, Mississippi, Indiana ····· 79

Table 2.30 Development of performance concept of buildings in other countries ····· 81
Table 2.31 Comparisons of PBD and Detailed Code ····· 88
Table 2.32 Danger Distribution Type of Contract Items ····· 92
Table 2.33 Foreign design systems due to performance ····· 97
Table 2.34 Review items and weighting of technical abilities in a brief procurement system ····· 110
Table 2.35 Review items and weighting in evaluation of Private Finance Initiative ····· 112
Table 2.36 Review standards and weighting in evaluation of Private Finance Initiative 113
Table 2.37 The states of C.S.I mechanical system ····· 115
Table 2.38 Standards of mechanical system construction U.S.A. ····· 116
Table 2.39 The states of I.M.C. ····· 117
Table 2.40 State of building mechanical system standard of Japan ····· 118
Table 2.41 The states of S.H.A.S.E. standards in Japan ····· 119
Table 2.42 The state of S.H.A.S.E. research ····· 120
Table 2.43 Evaluation standard of B.R.E.E.A.M. ····· 121
Table 2.44 Essential proceeding condition of L.E.E.D certification ····· 122
Table 2.45 Evaluation standards of L.E.E.D. ····· 122
Table 2.46 State of C.A.S.B.E.E. evaluation tool ····· 124
Table 2.47 Apply grade of C.A.S.B.E.E. ····· 124
Table 2.48 D.F.E evaluation items(1) ····· 127
Table 2.49 D.F.E evaluation items(2) ····· 127
Table 2.50 Technical Terms of Architecture Performance ····· 130
Table 2.51 Technical Terms Related Performance ····· 131
Table 2.52 Absolute Countermeasures of Commercial Power ····· 137
Table 2.53 Correction Cofficiency(γ) ····· 138
Table 2.54 Generator Circuit Load ····· 139
Table 2.55 Generator Circuit Load(excepting Office Building) ····· 140
Table 2.56 A Reliability Countermeasures of Power Supply Facility ····· 141
Table 2.57 A Legal Life Cycle of Electrical Installations ····· 146
Table 2.58 Comparison of Characteristic by Items of IEC 60364 ····· 148
Table 3.1 Status of specifications for road design(2003. 11) ····· 163
Table 3.2 Terminologies used in performance criteria of buildings (ISO, CIB, JIS etc.) 181
Table 3.3 Terminologies used in performance criteria (Britain Standard, Harrison) ····· 182
Table 3.4 Classification of Human Needs ····· 185
Table 3.5 KS F ISO 6241 : 2001(Building Performance Standard) User demand ····· 186
Table 3.6 An example of Performance Matrix ····· 191
Table 3.7 Items for performance evaluation ····· 192
Table 3.8 Comparison of performance levels of various propositions ····· 193

Table 3.9 Comparison of Load combination methods ····· 196
Table 3.10 Building significance coefficient ····· 196
Table 3.11 Comparison of the formula for the base shear ····· 196
Table 3.12 Performance classification in the Performance Grade System for residential buildings ····· 200
Table 3.13 Performance level targeted in the roof construction work ····· 203
Table 3.14 Development in the evaluation technique of building performances ····· 206
Table 3.15 Outline of evaluation tools of CASBEE ····· 208
Table 3.16 Application stages of evaluation tools of CASBEE ····· 208
Table 3.17 Outline of the building laws and evaluation methods with respect to building performance ····· 209
Table 3.18 Requirements for the performance code ····· 214
Table 3.19 Items of indoor environment for performance classification (Example) ····· 223
Table 3.20 Case study for the acoustic environment ····· 224
Table 3.21 Index for performance level classification ····· 224
Table 3.22 Multi-dimensional matrices of Performance for Social Infrastructure (Europe) 227
Table 3.23 Limit state of Design stage and limit status(Europe) ····· 228
Table 3.24 Design Load and Frequency(Japan) ····· 229
Table 3.25 Recommended Probability of Failure for Limit State(Japan) ····· 229
Table 3.26 Requirements For PBD on structure ····· 230
Table 3.27 Rock Properties (example) ····· 238
Table 3.28 Calculation of Ultimate bearing Capacity by loading Test ····· 239
Table 3.29 Evaluation Information of Consolidation Module(Example) ····· 244
Table 3.30 Representative Factor of Safety (Meyerhof, 1995) ····· 246
Table 3.31 Partial parameters of strength values(Meyerhof, 1995) ····· 246
Table 3.32 Required Performance for Design conditions ····· 247
Table 3.33 Design Conditions and Procedures(Eurocode) ····· 247
Table 3.34 Design Scope (Eurocode) ····· 248
Table 3.35 Design Method ····· 248
Table 3.36 Comparisons of PBD and Specification code ····· 254
Table 3.37 Comparisons of Car and Construction ····· 254
Table 3.38 General Limit State ····· 258
Table 3.39 Laws and regulations of road infrastructure ····· 270
Table 3.40 Construction standard of road facility ····· 271
Table 3.41 Standard and guide including road subsidiary facilities ····· 273
Table 3.42 Reference of Performance-based road subsidiary facilities ····· 277
Table 3.43 Retroreflectivity performance requirement of delineator ····· 278
Table 3.44 Retroreflectivity performance requirement of chevron panel ····· 278
Table 3.45 Retroreflectivity performance requirement of road stud ····· 279

Table 3.46 Retroreflectivity performance requirement of obstacle point sign board(yellow color) ····· 279
Table 3.47 Retroreflectivity performance requirement of object marker(yellow color) ···· 279
Table 3.48 Retroreflectivity performance requirement of reboundable guidepost ····· 280
Table 3.49 Performance requirement of a high-intensity retroreflecive sheeting on road sign ····· 280
Table 3.50 Performance requirement of a super-high-intensity retroreflecive sheeting on road sign ····· 280
Table 3.51 repainting recommendation of pavement marker retroreflectivity performance ·· 281
Table 3.52 Reference standard and the literature which amendment is confirmed ····· 287
Table 3.53 Nominal impact severity values and tolerance for transitions(NCHRP 350) 298
Table 3.54 Nominal impact severity values and tolerance for terminals(NCHRP 350) ··· 299
Table 3.55 Type of traffic safety mirror ····· 302
Table 3.56 Performance criteria of traffic safety mirror ····· 304
Table 3.57 criteria of image accuracy ····· 304
Table 3.58 Road lighting standard for driver in Korean standard(KS A 3701-1991) ····· 306
Table 3.59 Road lighting standard for driver(Installation and management guide of road safety facility) ····· 307
Table 3.60 Road lighting standard for pedestrian in Korean standard(KS A 3701-1991)307
Table 3.61 various road lighting standard ····· 308
Table 3.62 road lighting class to road and traffic type(proposal) ····· 309
Table 3.63 road surface luminance to road lighting class(proposal) ····· 310
Table 3.64 Road surface and reflection characteristics(proposal) ····· 311
Table 3.65 road surface illuminance to road lighting class(proposal) ····· 311
Table 3.66 Retroreflectivity performance requirement of reboundable guidepost ····· 314
Table 3.67 skid-resistant pavement type ····· 315
Table 3.68 Minimum friction coefficient ····· 316
Table 3.69 Minimum friction coefficient in Canada ····· 318
Table 3.70 Minimum friction coefficient in U.K. ····· 319
Table 3.71 Research development summary(Research of performance criteria for rockfall prevention facility ····· 322
Table 3.72 Performance evaluation methods of rockfall prevention facility(rockfall prevention fence) ····· 324
Table 3.73 Shotcrete design in domestic ····· 348
Table 3.74 Energy suction level by EFNARC ····· 350
Table 3.75 Standard of shotcrete flexure toughness, ASTM ····· 350
Table 3.76 Shotcrete toughness standard out of nation ····· 350
Table 3.77 Toughness level of steelfiber shotcrete by Vandenalle (1991) ····· 351
Table 3.78 Standard of adhesion by EFNARC ····· 351

Table 3.79 Recommendation factors of shotcrete adhesion ····· 352
Table 3.80 Chart of shotcrete quality test ····· 353
Table 3.81 Comparative standard of fire-resistant performance ····· 354
Table 3.82 Advice of fire-resistant performance by PIARC ····· 356
Table 3.83 Advice of fire-resistant performance by ITA ····· 357
Table 3.84 Basic performance items in the Public Buildings ····· 361
Table 3.85 Performance evaluation indicators on Local Characteristics of the Public Buildings ····· 362
Table 3.86 Performance evaluation indicators on Landscape Characteristics of the Public Buildings ····· 363
Table 3.87 Measurement results of rainfall, runoff, maximum and real evaporation amount, cooling rate by evaporation in greening rooftop ····· 365
Table 3.88 Result of computer simulation on water storage amount and rainwater requirement ····· 365
Table 3.89 The division of mechanical system in law. ····· 379
Table 3.90 The classification of mechanical system. ····· 379
Table 3.91 The definition of building performance terminology. ····· 383
Table 3.92 The definition of performance terminology. ····· 383
Table 3.93 The classification of human demand (CIBW45) ····· 384
Table 3.94 The classification of human demand (KSF ISO 6241) ····· 385
Table 3.95 Requirement Performance and Key Performance of Electrical Installations ·· 398
Table 3.96 Configuration Method of Power Supply by Priority of Load ····· 402
Table 3.97 Related Regulation about Substation Room ····· 404
Table 3.98 Related Regulation about Fence ····· 405
Table 3.99 Related Regulation about Warning Sign ····· 406
Table 3.100 Related Regulation in Lighting and Working Area ····· 406
Table 3.101 Regulation about Fire Protection ····· 406
Table 3.102 Conception and Purpose of LCC ····· 417
Table 3.103 Comparison of Characteristic about Assessment Method ····· 425
Table 3.104 Key Performance by Review Items of Substation ····· 428
Table 3.105 Assessment Items of Reliability Performance by Facility of Electrical Installations ····· 428
Table 3.106 Assessment Items of Reliability Performance by Substation and Trunk ···· 429
Table 3.107 Assessment Items of Reliability Performance by Emergency Facility ····· 429

LIST OF FIGURES

Figure 2.1 The operation system of eco-building certification ····· 29
Figure 2.2 Procedure of building energy efficiency grade certification ····· 31
Figure 2.3 Outline of Good Housing ····· 35
Figure 2.4 A Conception Diagram of Good Housing ····· 36
Figure 2.5 Calculation Method of Energy Saving Rate ····· 39
Figure 2.6 Criteria of Grade Decision ····· 43
Figure 2.7 Status of warranty contract in U.S(Russell) ····· 50
Figure 2.8 Example of crack rate 20% ····· 55
Figure 2.9 Contour lines for evaluation point by division method ····· 58
Figure 2.10 Contour lines for evaluation point by addition method ····· 58
Figure 2.11 Relationship between bid ratio and evaluation point by division method ····· 59
Figure 2.12 Relationship between bid ratio and evaluation point by addition method ····· 59
Figure 2.13 Rate of successful bid for the best proposer by enlarging additional point · 60
Figure 2.14 Technical ability required to orderer based on difficulty and scale of project · 68
Figure 2.15 Example for pay factor based on pavement roughness(Germany) ····· 70
Figure 2.16 Warranty system in Europe ····· 71
Figure 2.17 Application range in construction process ····· 72
Figure 2.18 Agreement of WTO/TBT on Performance based design ····· 83
Figure 2.19 Worldwide trends of PBD Standard ····· 84
Figure 2.20 Concepts of PBD in Geocode 21 ····· 91
Figure 2.21 Relations of Contractor, supervisor etc. ····· 93
Figure 2.22 German System ····· 94
Figure 2.23 NKB Level System ····· 97
Figure 2.24 Operating procedure of green parking project ····· 107
Figure 2.25 Operating procedure of a brief procurement system ····· 110
Figure 2.26 Review procedure of Private Finance Initiative ····· 112
Figure 2.27 Correction Cofficiency of Lighting Loads ····· 134
Figure 2.28 Correction Cofficiency of Motor Loads ····· 135
Figure 2.29 Bidding and Contract System of Electrical Works in Germany ····· 150
Figure 3.1 Operation plan for the 1st model project ····· 161
Figure 3.2 Formation of various road facilities and design·construction specifications · 163
Figure 3.3 A step model of performance-based codes ····· 197
Figure 3.4 Performance level of steel structural buildings ····· 199

Figure 3.5 Concept of the response value and the limit value in the limit-state design · 199
Figure 3.6 Major steps in material selection for building designs ····· 204
Figure 3.7 Material selection process ····· 205
Figure 3.8 Development process of building performance codes ····· 205
Figure 3.9 Development process of the performance code for the indoor environment · 211
Figure 3.10 Structure of performance codes ····· 213
Figure 3.11 Setting method of performance level for each function required in building ·· 216
Figure 3.12 Development of proper performance levels ····· 217
Figure 3.13 Development of the performance design code for fire resistance ····· 218
Figure 3.14 Classification of building constituents ····· 220
Figure 3.15 Performance Matrix ····· 221
Figure 3.16 Development of the optimum test method for performance evaluation ····· 222
Figure 3.17 Development process of the design guide against slipperiness of floor ····· 223
Figure 3.18 Development process of floor design guide against noise due to light percussion ····· 225
Figure 3.19 Concepts of PBD ····· 230
Figure 3.20 Exceedance Probability of Damage for structure ····· 232
Figure 3.21 Example of PBD on Breakwater ····· 231
Figure 3.22 Procedures for Determination of Design Values ····· 232
Figure 3.23 Definition of Characteristic Values ····· 233
Figure 3.24 Concepts of IT Technology system under GIS-ANN base ····· 242
Figure 3.25 Database items ····· 243
Figure 3.26 Concepts of Design Evaluation system under GIS-ANN base ····· 245
Figure 3.27 Limit state for Strength and stability ····· 248
Figure 3.28 PBD System ····· 252
Figure 3.29 PBD System for Social infrastructure ····· 253
Figure 3.30 Characteristics of road subsidiary facilities ····· 265
Figure 3.31 System of construction standards ····· 268
Figure 3.32 standard system of road facility, design and construction ····· 268
Figure 3.33 Flowchart for development of a safety feature ····· 289
Figure 3.34 Performance indicators selected from Road user's viewpoint ····· 290
Figure 3.35 Transition from traditional scheme to performance-based scheme ····· 290
Figure 3.36 Basic structure of Performance Criterion Procedure ····· 291
Figure 3.37 Performance-Based Document Development ····· 292
Figure 3.38 Performance-Based IBC Structure ····· 293
Figure 3.39 Development procedure of performance-based standard for road subsidiary facilities ····· 294

Figure 3.40 Defining procedure of performance-based standard ····· 295
Figure 3.41 Performance-based standard development guideline of barrier terminals and transitions ····· 299
ㄱFigure 3.42 Performance-based standard development guideline of retroreflection ····· 301
Figure 3.43 Performance-based standard development guideline of traffic safety mirror 305
Figure 3.44 Performance-based standard development guideline of road lights ····· 312
Figure 3.45 example for installation and breakage of reboundable guidepost ····· 314
Figure 3.46 construction type of distant skid-resistant pavement(1-3, 3-6 type) ····· 317
Figure 3.47 Performance-based standard development guideline of skid-resistant pavement ····· 320
Figure 3.48 Performance evaluation research roadmap of rockfall prevention facility ···· 322
Figure 3.49 Requirement performance system ····· 330
Figure 3.50 Concept graph of tunnel performance ····· 338
Figure 3.51 Remaining strength level by EFNARC ····· 349
Figure 3.52 Standard of shot cure time shotcrete strength ····· 353
Figure 3.53 Temperature history curves for tunnel ····· 358
Figure 3.54 Surface temperature reduction effect in greening rooftop - Comparison with Conventional rooftop ····· 365
Figure 3.55 The organization of research execution. ····· 392
Figure 3.56 The roadmap of research state. ····· 393
Figure 3.57 Single Line for the Improvement of Reliability in Power System ····· 400
Figure 3.58 The Status of Energy Efficiency Management System ····· 408
Figure 3.59 A Conception Diagram for the Improvement of Energy Efficiency ····· 409
Figure 3.60 The Requirement of Performance for the Protection of Environment ····· 410
Figure 3.61 Small Wind Power Generation ····· 414
Figure 3.62 Photovoltaics Power Generation ····· 414
Figure 3.63 Fuel-Cell Power Generation ····· 414
Figure 3.64 Requirement Performance of Electrical Installations for the Protection of Environment ····· 415
Figure 3.65 Requirement of Earth-quake Proof ····· 416
Figure 3.66 Configuration of the Related Laws and Criteria ····· 426
Figure 3.67 An Assessment Example of LCC and Key Performance of Transformer ··· 430

제 1 장 서론

제 1 절 연구개발 목적 및 필요성

1. 연구개발 목적

본 연구는 「성능중심의 건설기술기준 개발 기본계획 수립 - 기본계획 수립 및 성능기준 작성지침 개발 -」 연구의 2차년도 연구로서 도로포장, 건축물, 구조물기초, 도로부대시설, 터널, 조경, 건축기계설비, 건축전기설비, 8개 시설물 분야에 대해 분야별로 성능중심의 건설기술기준 작성지침을 개발하기 위한 연구이다.

본 연구의 목적은 도로포장 분야의 경우, 성능기준을 작성하기 전에 성능기준에 포함될 성능항목 및 범위, 운영방안 등 성능기준 작성지침을 제시함으로써, 이 지침에 따라서 성능기준을 효과적으로 개발하기 위함이다. 기타분야(건축물, 구조물기초, 도로부대시설, 터널, 조경, 건축기계설비, 건축전기설비 분야)의 경우, 시설물별 성능기준의 개념 및 특성, 개발대상 및 범위, 접근 및 개발방법 등을 포함한 성능기준 작성지침을 제시함으로써, 향후 시설물별로 효과적으로 성능기준을 개발하기 위함이다.

2. 연구개발 필요성

가. 기술적 측면

성능중심의 건설기술기준을 개발하여 적용함으로써 시설물의 성능을 향상시킬 수 있고, 설계 및 시공자의 기술개발을 유도가 가능하다. 또한 성능중심의 건설기술기준을 개발함으로써 준공된 시설물의 성능과 품질을 가치 척도로 나타낼 수 있으며, 이를 통해 시공자에 대한 상벌이 가능하여 성과품의 성능 및 품질 향상에 기여할 수 있다. 또한 설계 및 시공자에게 설계 및 시공방법 등의 선정에 대한 자율성을 부여함으로써 신기술, 신공법의 도입이 활성화될 수 있다.

시설물의 안정성을 확보하고 시설물의 사용성능(공용성)을 향상시키기 위해서는 성능기반의 설계 개념의 도입이 필요하다. 특히 설계분야에서 성능기반 설계법을

도입함으로써 구조물의 성능을 향상시킬 수 있고 설계기술의 국제경쟁력 향상이 가능하다. 국내의 전반적인 설계 및 해석 관련 기술은 기술개발에 대한 인식부족, 막대한 소요 예산, 기술개발 결과의 불확실성 등으로 인해 선진국에 비해 상당히 낙후되어 있는 실정이다. 특히 미국의 FEMA, 유럽의 Eurocode, 일본의 JSCE code는 성능기반 설계 기법을 설계기준에 도입하고 있고, 국제적인 설계기준의 추세는 변화하고 있다. 성능기반 설계를 통해 시설물의 정확한 성능을 예측하고, 이를 통한 설계의 적절성 및 안전도를 확보하는 것이 필요하다. 또한 성능기준을 개발을 통해 시설물에 대한 요구성능을 정의하고, 이를 객관적으로 평가, 판단할 수 있는 기반을 구축함으로써 설계자 및 시공자의 기술경쟁 유도가 가능해진다.

나. 경제·산업적 측면

성능중심의 건설기술기준은 성능계약제도 도입 등을 위해 필요한 중요한 인프라로서 성능중심의 건설기술기준을 개발함으로써 건설공사에 대한 성능계약제도의 시행이 가능하다. 성능계약제도의 시행을 통해 설계자 및 시공자의 기술개발을 유도가 가능해진다. 또한 성능중심의 건설기술기준을 개발함으로써 시설물의 품질향상을 통해 증가되고 있는 도로포장 등의 시설물에 대한 유지관리 비용 및 생애주기비용(LCC) 절감이 가능하다. 또한 성능중심의 건설기술기준을 개발함으로써 시설물의 안전 및 품질이 향상되고, 세계 시장에서 설계 및 시공 기술 경쟁력을 확보할 수 있다.

이러한 성능중심의 건설기술기준을 개발하기 위해서는 이를 위한 기초 연구로서 시설물별로 성능기준의 개념 및 특성을 정립하며, 시설물별 성능기준 개발 대상 및 범위를 설정하고, 시설물별 성능기준을 개발 및 접근 방법을 제시하는 등 성능중심의 건설기술기준 작성지침을 개발하는 것이 필요하다.

다. 사회·문화적 측면

성능중심의 건설기술기준을 개발함으로써 발주자에 의한 품질관리에서 시공자에 의한 품질관리 및 기술개발을 통한 성능 향상이 가능하다.

제 2 절 연구개발 범위

1. 연구개발 최종 목표

본 연구의 최종 목표는 재료별, 시설물별 성능중심의 건설기술기준을 개발하기 위한 기본계획을 수립하고, 시설물별 성능기준 작성지침을 개발하는 것이다. 그리고 이를 통해 차기 과제로 성능중심의 건설기술기준을 개발하고, 장기적으로 선진국의 성능계약제도를 도입하도록 하기 위한 것이다.

2. 연도(단계)별 연구목표 및 내용

본 연구의 연도(단계)별 연구 목표 및 내용은 다음 표와 같다.

표 1.1 연차별 연구 목표 및 내용

연 차	연구 목표	주요 내용 및 범위
1차연도 (2006)	○ 성능중심의 건설기술기준 개발 기본계획 수립	- 국내외 성능기준 현황 조사 분석 - 재료별, 시설별 성능기준 개발 기본계획 수립 · 로드맵(TRM) 작성 포함 - R&D사업 기획보고서 작성
2차연도 (2007)	○ 도로포장분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 제시	- 선진국의 성능기준 작성지침 분석 - 도로포장분야 성능기준 작성지침 제시
	○ 기타시설물 분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발 (건축물, 구조물기초, 도로부대시설, 터널, 조경, 건축기계설비, 건축전기설비 분야)	- 시설물별 성능기준 개념 및 특성 정립 - 시설물별 성능기준 개발 대상 및 범위 설정 - 시설물별 성능기준 개발을 위한 접근방법 및 개발방법 도출 - 시설물별 성능기준 작성지침 개발

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

1. 도로포장분야 국내 기술개발 현황

성능중심의 건설기준은 도로포장분야에서 최초로 도입하고자 하는 것으로 도로포장의 성능을 평가하기 위한 기술분야는 관련 연구가 매우 미미한 수준이다.

기존 도로포장의 계약 제도상에서의 성능관련 기준으로는 '국가계약법'과 '건설산업기본법'에 '하자'에 관하여 규정된 것이 있으나, 하자의 정의와 평가방법 및 절차, 권한 및 책임의 소재에 관하여 규정하고 있지 않기 때문에 도로포장 성능의 평가방법에 관한 제도적 기준은 전무하다.

또한, 포장의 성능을 파악하기 위한 실내 및 현장 실험, 자료조사 및 모형에 관한 연구 등이 부분적으로 이루어지고 있으나, 이는 실질적인 평가를 통해 지불규정이나 품질보증기준의 근거로 이용할 목적과는 직접적인 연관이 없는 기초연구의 성격으로 현재까지 국내에서 도로포장의 성능을 평가하기 위한 기술의 개발은 거의 미미한 상황이다.

2. 건축물분야 국내 기술개발 현황

국내의 경우 「KS F 1010(건축물의 부위별 성능 분류)1976」, 「KS F 2273(조립용 판 및 그 구조 부분의 성능시험방법)1977」 제정 및 1990년대부터 시작된 KS의 ISO 부합화 작업에 따라 국제적인 기준에 부합시키려는 노력은 꾸준히 시도되고 있으나, 건축물의 성능설계는 아직 적용 가능한 일부 항목에 대한 재료품질이나 공법 사양 등을 토대로 이루어지고 있다.

또한 성능기반 설계기법의 개발에 관한 기초적인 연구가 국내학계를 중심으로 시작되고 있는 단계에 있으며, 관련 연구로는 「주택건설의 공업화를 위한 주택 각 부위의 표준치수 설정과 주택성능에 관한 연구」(건설부, 1981), 「건축부위의 성능기준

설정 프로세스에 관한 연구」(인하대 이문섭, 1985), 「건축재료학에서 성능과 재료설계에 대하여 기술」(충남대 김무한 외, 1991), 「공업화주택의 성능 및 생산기준에 관한 조항 신설」(건축법, 1993), 「공동주택 부위별 성능기준 작성 연구 개시」(대한주택공사, 1995), 「성능설계 시대를 향한 구조설계의 논리화 연구」(대한주택공사, 2000), 「국제화시대에 대비한 성능중심의 건설기술기준 개발 기획연구」 (한국건설기술연구원, 2002), 「성능중심의 건설기술기준을 개발하기 위한 기획보고서」(한국건설기술연구원, 2007) 등이 있다.

관련 제도 및 규정으로는 건물에너지 효율등급 인증제도(2001), 친환경건 축물 인증제도(2002), 공동주택 바닥충격음 규정(경량 2004, 중량 2005), 신축공동주택 실내공 기질 권고 및 개선 규정(2005), 공동주택 실내 공기질 개선(2005), 주택성능등급제도(2005) 등이 있다.

다음 표는 국내에서 이루어지고 있는 표준화연구 및 제도·규정에 대해 연도별로 정리한 것이다.

표 2.1 국내 건축성능의 발전 과정

년 도		국 내
1970 년대	1976	KS F 1010(건축물의 부위별 성능 분류) 제정
	1977	KS F 2273(조립용 판 및 그 구조 부분의 성능시험방법) 제정
1980 년대	1981	건설부, '주택건설의 공업화를 위한 주택 각 부위의 표준치수 설정과 주택성능에 관한 연구' 실시
	1981	건설부 건축연구소, '건축물의 구조 및 성능평가연구
	1985	인하대 이문섭, 대한건축학회지에 '건축부위의 성능기준 설정 프로세스에 관한 연구'를 기고
1990 년대	1990	충남대 김무한 외, 건축재료학에서 성능과 재료설계에 대하여 기술.
	1991	충남대 김무한, 대한건축학회지에 '건축재료학 교육의 문제점과 개발방안'에 성능론 기술
	1992	충남대 김무한, 대한건축학회지에 '건축의 구성재료와 환경성능요인'에 성능론 기술
	1993	건축법에서 '공업화주택의 성능 및 생산기준'에 관한 조항 신설
	1995	대한주택공사에서 '공동주택 부위별 성능기준 작성 연구' 개시
2000 년대	2000	성능설계 시대를 향한 구조설계의 논리화 연구
	2001	건물에너지 효율등급 인증제도
	2002	국제화시대에 대비한 성능중심의 건설기술기준 개발 기획연구

	2002	친환경건 축물 인증제도
	2003	오피스건물 성능평가지표 개발 및 그 인증 방안에 관한 연구
	2004	공동주택 경량 바닥충격음 규정
	2005	공동주택 중량 바닥충격음 규정
	2005	신축공동주택 실내 공 기질 권고 및 개선 규정
	2005	공동주택 실내 공기질 개선
	2005	주택성능등급제도
	2006	대한주택공사에서 공동주택 부위별 요구성능항목의 중요도 분석
	2007	한국건설기술연구원에서 성능중심의 건설기술기준을 개발하기 위한 기획보고서

3. 구조물기초 분야 국내 기술개발 현황

가. 개요

우리나라의 건설기술은 선진국의 70% 수준으로 설계 등 엔지니어링 기술, 품질.안전 관련 기술 및 건설자재 생산 기술의 낙후가 건설산업 발전에 큰 저해요인으로 작용하고 있다. 또한 건설기술을 선도하는 엔지니어링 기술의 대외 경쟁력이 미약하고 대형 건설공사의 사업기획, 기본설계, 감리 등은 선진국 업체에 의존하는 경향이 적지 않은 것으로 나타났다. 이와 같이 건설기술 발전이 늦은 이유는 건설현장에서 신기술, 신공법, 신자재의 적용이 활발치 못하기 때문이다. 이같이 신기술, 신공법 등이 현장 적용이 활발치 못한 것은 설계와 시공이 분절, 시공 단계에서 생성된 정보가 설계 단계에 제대로 피드백(feed-back)되지 못하고 최신공법이나 자재를 반영한 시공성을 갖춘 설계가 미흡하기 때문이다. 또 최저가 낙찰이 일반화되면서 기술력에 의한 경쟁이 이루어지지 못하고 있는데다 입찰 및 PQ제도 시행 과정에서 기술능력에 대한 변별력이 미흡하다는 것도 건설기술 속도를 저해하는 요인으로 지적됐다.

특히, 이러한 기술적인 문제를 해결하기 위해서는 설계, 엔지니어링, 감리, 측면-성능 설계의 도입 및 설계의 품질 확보, 성능 설계를 위한 법령 및 시방서 개편, 신자재, 신기술의 적용을 확대하기 위해서는 '토목 구조물 설계기준 등에 관한 규정, 각종 시방서 등

을 성능 규정 방식으로 전환해 시방설계(prescriptive design)보다 성능설계(performance-oriented design)의 촉진이 필요하다. 건설교통부가 제정한 표준시방서 및 설계, 시공기준을 개편해 ISO 표준체계, 구조물 유로코드 체계 등 국제 표준과의 적합성 확보가 필요하다.

나. 국제기술표준 관련 국내기술 기준의 문제점[1)]

국제표준을 개발 및 보급하는 ISO에서는 국제표준으로서 관련 기준을 채택하기 위해서 미리 기술위원회 및 부속위원회의 검토를 거쳐 최종 국제 표준기준의 시안(Final Draft of International Standards, FDIS)이 만들어 진다. 이러한 FDIS는 ISO 모든 회원 국가에 배포되며 국제 표준으로 채택되기 위해 회원국의 투표를 거치게 된다. 총 참가회원국의 투표에서 2/3의 승인이 있으면 통과되며 1/4이 되지 못하면 승인이 거부된다.

한편, 국가간의 기술장벽을 제거하고자 하는 국가간 GATT/TBT협정이 '79.4.12 스위스 제네바에서 채택되어 '80.1.1 발효되었으며, 이는 우루과이라운드협상('86~'94) 결과 동 협정이 WTO/TBT 협정으로 대체되었다. 무역상 기술장벽(TBT; Technical Barriers to Trade)이란, 무역상대국간에 서로 상이한 표준(Standard), 기술규정(Technical Regulation), 인증절차(Certification Procedure), 검사제도(Inspection System) 등을 채택, 적용함으로서 상품 및 서비스의 자유로운 이동을 저해하는 무역에 있어서의 제반 장애요소를 말한다. 따라서 국제적인 표준으로서 채택된 기술기준이 특정국가의 기술수준 및 제도, 표준, 기술규정 등과 상이하여 무역상의 장벽이 발생할 때에는 국가간의 무역분쟁이 발생할 수 있게 된 것이다.

ISO의 경우 유럽국가를 중심으로 운영되고 있으며 그동안 상당기간 동안 ISO의 활동이 이루어져 왔으나 건설관련 표준화 작업에는 투표권이 없는 O-member로서 참여함으로서 향후의 건설시장 다변화에 대비한 우리의 입장과 기술적인 문제점을 반영하지는 못해왔다. 그러므로 기술수준이 아직까지는 미약하고 준비가 되지 않은 우리나라의 경우에는 새로운 국제 표준에 대비하지 않고는 앞으로 외국의 건설

1) 윤길림(1999), "국제적인 설계기준인 한계상태설계법 연구"
윤길림, 이규환, 채광석(2004), "확률 및 신뢰성 개념을 도입한 지반설계 사례연구", 한국지반공학회 지반조사위원회 특별세미나.

시장에 진출하거나 외국건설관련 업체의 국내 건설시장 진출시에는 기술적인 문제 물론 국제적인 문제에 봉착할 수도 있음을 간과할 수 없게 되었다.

현재까지는 건설 관련 구조물을 설계하는 경우에는 소위 시방서를 기준으로 하여 구조물을 설계(Specification-based Design)하여 왔다. 그러나 시방서를 기준으로 하는 설계법이 구조물의 공용성 및 신뢰성을 기준(Performance-based Design or Reliability-based Design)으로 한 새로운 설계기준으로 빠르게 변화하는 현 추세에 비춰볼 때 이 같은 설계법은 많은 문제점을 안고 있다. 무엇보다도 시방서를 기준으로 한 설계는 필요한 요구조건을 아주 세부적으로 제시하고 있기 때문에 목표하는 성능을 달성하기 위한 다양한 접근방법을 배제함으로서 설계자의 창의력을 제한하고 있으며 설계자로 하여금 현실에 안주하도록 한다는 것이다. 또한, 새로운 기술에 대한 적용을 어렵게 함으로서 결과적으로 기술발전의 장애요인으로 작용하고 있는 것이 현실이다.

국내의 경우 한계상태설계법에 대한 체계적인 연구의 미비로 국제적인 기술조류의 대열에 능동적으로 참여하기가 곤란하여 선진국의 수준 높은 설계기술의 도전에 적절히 대처할 수가 없는 실정이다. 우리의 경우 국제적인 기술조류에 따라 관련 설계법에 대한 연구의 필요성은 이전부터 인정하고 있었지만 개인적인 연구에 그치고 있으며 국가 차원에서는 2001년부터 실제적인 연구에 착수할 계획으로 있다.

한계상태설계법의 국내적용을 위해서는 구조물의 한계상태에 대한 정량적인 명확한 정의가 필요하다. 예를 들어 사용한계상태는 그 상태로 구조물 또는 부재가 만족하지 않으면 안 되는 변형량, 균열폭 등의 조건에 의한 정량적인 정의가 필요한 것이다. 또한, 설계시점에서의 불확정 요인의 합리적인 고려가 필요하다. 즉, 사용기간 중에 작용하는 외력의 변동 및 실제로 작용하는 외력과 설계하중과의 차이나 재료강도, 단면치수, 재료시험결과를 구조물에 적용할 때 포함되는 불확실성에 의한 부재 및 구조물 강도의 변화 등을 충분히 합리적으로 고려하여야 한다. 결국, 한계상태설계법을 구조물 설계에 도입하기 위해서는 구조물 거동의 복잡성, 지반의 강도특성이나 여러 설계공법과 그 품질 등에 관한 통계 및 확률량, 상부구조의 기능에 대한 간접적 평가 등 수많은 과제를 극복하여야 한다. 그러므로 한계상태의 정의에 관계되는 사항과 해외 선진국의 연구 및 개발동향을 우선적으로 분석하고 그 대처방안을 사전에 국가적인 차원에서 대비하여야 한다.

또한, 국제적인 기술 표준화에 대한 건설 관련자의 인식부족으로 새로운 설계법에

대한 기술적인 적용문제가 해결되어도 실제 적용과정에서 실무자 사이에 상당 기간 동안의 혼란이 예상되며, 관련되는 각종 건설기준이 새로운 설계법에 부합될 수 있도록 하기 위해서는 많은 노력이 투입되어야 할 것으로 보인다. 따라서 새로운 설계법이 우리의 건설환경에서 제 기능을 발휘하기 위해서는 어느 정도의 시일이 필요하며 많은 노력과 관심이 있어야 할 것이다.

다. 국내 성능설계의 연구동향[2)]

국내 지반공학 분야에서의 연구는 신뢰성 해석에 기초한 깊은 기초의 설계를 중심으로 이루어져 왔다. 말뚝의 지지력 평가 연구와 신뢰도 해석에 근거한 말뚝의 여러 가지 지지력 예측방법들의 안전율을 제시한 연구 등이 수행되었으며 비선형 구조물에 대한 추계학적 신뢰성 해석 및 실제 구조물에 대한 신뢰성 해석 알고리즘 개발, 그리고 축하중을 받는 말뚝구조물의 신뢰성 해석에 대한 연구 등이 수행되었다. 이러한 국내의 개별적인 연구 외에 국책연구기관을 통하여 진행되었거나 진행중인 연구는 다음 표와 같이 기초구조물과 관련된 과제가 있다.

표 2.2 국내 성능설계 관련 연구과제 현황

부처명	사업명	과제명	비 고
국토연구원		민간투자사업의 성능제안형 방식도입에 관한 연구	2002
건설교통부	건설핵심기술 연구개발사업	기초구조물 LRFD 저항계수 개발	2004-2006
해양수산부	첨단항만 건설기술	차세대 항만설계기술 개발	2001-2005
건설교통부	건설교통 R&D 정책인프라 사업	기초분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발	2006-2007
건설교통부	건설교통 R&D 정책인프라 사업	구조물 기초 분야 성능중심의 건설기준 정비 및 표준화	2007-2008

2) 윤길림(1999), "국제적인 설계기준인 한계상태설계법 연구"
윤길림, 이규환, 채광석(2004), "확률 및 신뢰성 개념을 도입한 지반설계 사례연구", 한국지반공학회 지반조사위원회 특별세미나.

2000년 국토개발 연구원에서 "민간투자사업의 성능제안형 방식도입에 관한 연구"에서 성능설계의 필요성 등에 대해 연구한 적이 있다. 또한, 건설교통부 주관으로 기초구조물 LRFD 저항계수 개발에 관한 연구(건설교통부 2004-2006)가 진행되었으며 한국해양연구원에서는 차세대 항만설계 기술개발(해양수산부 2001-2005)의 일환으로 항만시설물 설계관련 기반연구를 수행한바 있다. 그러나 아직까지 깊은 기초(말뚝)의 성능설계 개념에 대해서는 약간의 연구가 진행되었으나, 성능설계 기준의 지침이나 기준정립에 대한 연구는 미흡하다. 기초구조물과 관련이 있는 얕은 기초, 철도구조물, 지반조사, 터널, 사면, 연약지반 등에 대한 연구는 전무한 실정이므로 이러한 구조물에 대한 성능설계 기준의 정립이 되어야 구조물 설계에 필요한 자료를 확립할 수 있다. 이를 위해 2006년도 건설교통기술연구개발사업의 일환으로 구조물 기초 분야 성능중심의 건설기준 정비 및 표준화에 대한 연구가 현재 진행중에 있다. 이 연구의 목적은 각종 표준시방서 및 설계기준을 성능중심으로 정비하고 국제 표준에 맞게 표준화하기 위해서 시설물별로 표준시방서 및 설계기준 제, 개정을 지원하기 위한 기초연구 수행, 설계 및 시공지침 등 작성을 통해 국내 표준시방서 및 설계기준을 선진국 수준으로 향상시키는데 있다.

4. 도로부대시설 분야 국내 기술개발 현황

도로부대시설에 대한 기준은 사양중심의 기준(prescriptive codes)과 성능중심의 기준(performance based code)으로 분류된다. 과거에는 대부분의 시설 기준이 기능적 요구사항에 부합하는 사양중심의 기준으로 제시되었으며, 시설의 구성 요소인 일부 재료에 대해서만 성능중심의 기준으로 제시되었으나, 최근에는 다양한 신재료, 신제품, 신기술의 개발로 기능적 요구사항과 성능 요구사항을 제시하고 검증방법을 규정한 성능중심의 기준으로 변화해가고 있는 추세이다.

많은 안전시설은 운전자에게 일정 정보를 제공함으로써, 전국 어느 도로에서나 동일한 기능의 도로에서는 동일한 시설을 제공하여 시설의 일관성 및 통일성을 기하여야 하므로 규격 기준을 제시하고 있고, 상세한 구성요소의 시설에 대한 기준은 시설 성능의 표준(KS)을 제시하고 있다. 즉 일정 기능을 갖는 한 시설에 대한 기준으로 규격기준과 성능기준을 적절히 조합하여 제시하고 있다.

도로부대시설 중 방호울타리 및 충격흡수시설 등 차량방호 안전시설은 과거에는 다른 안전시설과 같이 외형에 대해서는 규격 기준을 재료에 대해서는 성능기준을 제시하였으나, 2001년 7월부터 외형에 대한 규격기준은 생략하고, 시설물의 기능과 이에 만족하는 성능을 발휘할 수 있는 성능기준으로 전환하였으며, 이에 대해 '도로안전시설 설치 및 관리 지침-차량방호 안전시설 편'(건설교통부, 2001.7)에서 규정하고 있다. 또한 성능에 대한 평가 확인을 위한 시험 수행을 위하여 '차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람'도 같이 발간하여 활용하고 있다.

또한 시선유도시설(시선유도표지, 갈매기표지, 표지병), 노면표시, 도로표지, 시인성증진 안전시설(장애물 표적표지, 구조물 도색 및 빗금표지, 시선유도봉) 등은 성능기준을 도입하여 적용하고 있으나 시설 전체가 아니라 재료인 재귀반사체의 반사성능만을 적용한 것으로 도로부대시설 분야에 성능기준의 도입은 아직 미비한 상태이다.

5. 터널분야 국내 기술개발 현황

국제시장의 개방에 따라 국내의 구조물 설계분야에 있어서도 ISO 등의 국제규격과의 기술적 조건의 충족이 요구되고 있다. 유럽에서는 유로코드(Eurocodes)에 의한 설계기준의 통일화가 진행되고, 아시아 여러 국가에서도 지역 공통의 설계기준 작성을 목표로 하는 움직임이 시도되고 있다.

국내의 경우, 국토의 70% 이상이 산지로 구성되어 있어 필연적으로 많은 터널이 건설되고 있으며 도로 및 철도의 연결고리 역할을 하는 터널은 사회·경제적인 중요성과 그 종류의 다양함으로 인해 충분한 안정성과 경제성을 확보할 수 있도록 적합한 시방기준에 따라 설계 및 시공이 이루어져야 한다. 기술의 진보에 따라 터널 또한 장대화·대형화 되면서 기존의 설계방식으로는 터널의 안전성을 확보할 수 없는 경우가 많으므로 합리적이면서도 체계적인 설계방법 및 설계절차를 확립하기 위한 다양한 연구가 진행 되어 왔으며, 도로와는 독립적인 각종 설계기준 및 시방서가 제·개정 되어왔다.

최근까지 설계기준들의 체계가 불명확하고 연계성 설정이 낮아 상층 부분의 조정·누락 또는 미비 부분의 보완과 기술의 발전에 따른 새로운 기술을 추가할 수

있는 방안을 마련하고 이를 시행해 나갈 수 있는 종합적인 정비계획이 수립 및 시행 되어왔다. 이러한 노력의 일환으로 터널설계와 관련한 국가기준과 하위기술기준들을 체계적으로 정립해 나감으로서 기준과 터널 설계기술의 발전을 도모하고, 궁극적으로는 이용자에게 안전한 터널을 제공할 수 있는 바탕을 마련해야 할 것으로 판단된다. 따라서 현재 국내 건설공사기준 체계는 구조물의 기술적 조건을 충족시키려는 규정 및 시방중심의 기준(Prescriptive Codes)이고, 세계적인 표준화 흐름에 맞추기 어렵기 때문에 표준화 및 국제화에 대한 대응이 필요하다.

한편 1999년에 제정된 건설교통부 터널설계기준(이하, 터널기준으로 약함)은 각종 터널을 대상으로 하는 내용으로 구성되어 있으며 모든 기술적인 내용을 허용 할 수 있는 표준적인 골격으로 규정되어 있다. 또한 1999년에 완성된 도로설계 편람-터널편은 도로터널의 실시설계 및 설계관리에 직접 활용할 수 있는 실무편람이 될 수 있도록 함을 원칙으로 작성하였다. 그러나 국내의 경우 터널의 성능에 대해 주로 재료적 측면에서 접근하였으며, 역학적 내구성 측면에 대한 성능에 대해서도 주로 설계, 시공개념이 강하고 사용성 측면에서의 내용은 매우 부족한 상태이다.

새롭게 개정된 도로교통협회 도로설계기준-터널편은 먼저 제정된 터널기준의 내용을 준하여 작성하였고, 목차는 일반사항, 계획 및 조사, 터널체계로 구성되어 있다. 터널기준의 터널해석 부분과 기계화굴착공법에 대한 내용은 다루지 않고 있으며, 참고로 도로조명의 일부로 터널조명 설계를 상세히 다루고 있다.

이와 아울러, 건설교통부에서 2006년 초부터 주택성능등급 표시제도를 시행하도록 하여 구조물건설에 보다 본격적인 성능기준형 설계기준 및 시방서의 도입 필요성이 시급히 대두되고 있으며, 콘크리트표준시방서등에서 구조물의 등급별 목표 내구수명 등을 규정하여 시공이전에 부분적인 내구성 성능평가를 수행하도록 성능시방이 도입되고 있다. 국내 실정과 국제 동향에 부합하도록 비슷한 시기에 성능중심 설계기법을 개발하여 선진국과 어깨를 나란히 하며 현장에 적용할 수 있도록 한다면, 국내의 시멘트 산업, 콘크리트 산업, 건설산업과 관련기술은 급속도로 향상되고 우리기술의 국제화 및 세계 속의 위치상승으로 이어질 수 있다.

6. 조경분야 국내 기술개발 현황

국내의 조경분야에서는 성능중심의 기술기준이 아직 마련되지 않았으므로 국내의 기술개발 현황은 주로 성능평가분야에서 이루어지고 있다고 할 수 있다. 조경분야에서 평가에 관련된 연구는 경관, 열환경, 우수저류 및 침투, 생물서식지 등을 대상으로 이루어져 왔다. 비탈면 녹화분야는 많은 공법들이 개발되었으며 건설교통부의 지침에 따라 시험시공을 하고 평가를 하는 사례가 늘어나고 있어 성능중심의 기술기준에 가장 근접한 사례가 되고 있다. 또한 환경친화적인 조경포장공사의 필요성이 증대함에 따라 포장공사에 대한 환경성능평가에 대한 구체적인 연구가 진행된 바 있다.

가. 비탈면 녹화분야[3)]

건설교통부(2005) 비탈면 녹화설계 설계 및 시공 지침에 따라 시행된 성능평가의 일례를 들면 다음과 같다.

(1) 비탈면녹화의 목표

1) 비탈면의 침식방지 및 안정
2) 비탈면의 경관 향상
3) 주변지역과의 조화
4) 종다양성의 확보

(2) 요구성능

1) 비탈면의 침식방지 및 안정

요구성능 1: 목본식물위주의 녹화로 안정적이고 지속적인 식생군락 유지

요구성능 2: 녹화공사 초기의 피복율을 높일 수 있는 식물 종을 도입한다.

요구성능 3: 비탈면의 생육기반에 잘 적응할 수 있는 식물종을 도입한다.

2) 비탈면의 경관 향상

요구성능 1: 비탈면의 경관을 향상시킬 수 있는 초화·화목류를 도입한다.

---

3) (사) 도시녹화연구소(2005) 울산-강동간 도로확장 및 포장공사 절토사면 비탈면 녹화시험시공 및 녹화방안, pp 1-32.

3) 주변지역과의 조화

요구성능 1: 주변지역에 자생하는 목본식물이 우점종이 될 수 있는 종자배합 설계를 하고, 식생의 생육기반을 조성한다.

요구성능 2: 향토 식물종자를 배합하여 경관이 주변지역과 어울리도록 한다.

4) 종다양성의 확보

요구성능 1: 초기 피복율 초본류의 종류와 종자 배합량을 조정하여 경시적으로 천이가 일어날 수 있도록 한다.

요구성능 2: 천이가 용이하게 일어날 수 있도록 생육기반을 조성한다.

5) 목표종 및 최종성립본수

위의 요구성능을 바탕으로 설정한 비탈면 녹화의 목표종과 최종성립본수의 기준은 다음 표에 제시한 바와 같다.

표 2.3 비탈면 녹화목표 및 목표종

구분	지역	위치	녹화목표	목표종	판정기준 성립본수 (150일후)
A-1	7+900	상	수림형	곰솔, 적송	250본/㎡이상
A-2		중	관목형	싸리	150본/㎡이상
				비수리	150본/㎡이상
				자귀나무	10본/㎡이상
A-3		하	초화류	산국	250본/㎡이상
				패랭이류	250본/㎡이상
B	8+900	하	초화류	산국	250본/㎡이상
				패랭이류	250본/㎡이상
C-1	10+800	상	수림형	곰솔, 적송	250본/㎡이상
C-2		중	관목형	싸리	150본/㎡이상
				비수리	150본/㎡이상
				자귀나무	10본/㎡이상
C-3		하	초화류	산국	250본/㎡이상
				패랭이류	250본/㎡이상

(3) 시공사의 제안 내용

1) 목표종 파종량

표 2.4 비탈면 녹화공법별 목표종 파종량

구분	지역	위치	녹화목표	목표종	단위면적당 파종량(g/㎡)			
					A공법	B공법	C공법	D공법
A-1	7+900	상	수림형	곰솔	17	10	28	41.2
				적송	13	7	28	8.8
A-2		중	관목형	싸리	10	14	27	7.6
				비수리	8	4	15	0.6
				자귀나무	9	5	14	9.1
A-3		하	초화류	산국	6	18	28	0.2
				패랭이류	24	6	28	0.3
B	8+900	하	초화류	산국	6	18	40	0.2
				패랭이류	24	6	40	0.2
C-1	10+800	상	수림형	곰솔	17	10	20	41.2
				적송	13	7	20	8.8
C-2		중	관목형	싸리	10	14	19	7.6
				비수리	8	4	11	0.6
				자귀나무	9	5	10	9.1
C-3		하	초화류	산국	6	18	40	0.2
				패랭이류	24	6	40	0.3

2) 취부두께

녹화 목표종의 생육과 정착을 위하여 도입하는 녹화기반재의 두께는 각 공법별로 다음 표에 제시한 바와 같다.

표 2.5 비탈면 녹화공법별 녹화기반재의 취부 두께(㎝)

구분	지역	위치	A공법	B공법	C공법	D공법
A-1	7+900	상	5	2	7	2
A-2		중	5	3	7	3
A-3		하	5	5	7	5
B	8+900	하	5	5	10	5
C-1	10+800	상	5	2	5	2
C-2		중	5	3	5	3
C-3		하	5	5	10	5

(4) 성능평가의 방법

1) 측정

① 취부두께 검측은 녹화기반재의 두께별, 목표종별로 구분하여 각 처리구별 3개소 이상을 측정한다.

② 최소 취부두께는 설계두께의 50% 이상이 되어야 하며, 평균 취부두께는 설계두께의 75%를 넘어야 한다. 단, 시공상단부, 돌출부, 역경사 지역 등 특수한 개소는 예외로 한다.

③ 시공면적은 시공이 완료된 후 현지측량을 실시하여 설계도서와 비교검토 확인한다.

④ 생육상태 판정용 조사구 설치

식물조사방법은 주로 방형구법(quadrat method)을 이용하여 조사한다. 시공면에 1m x 1m의 고정조사구를 3개소 이상 설치한다. 고정조사구는 시공면을 대표할 수 있는 지점으로서 랜덤하게 분포하도록 한다.

⑤ 생육상태 판정용 측정 항목

생육조사는 조사 표본지구에 설치한 방형구내에 출현하는 모든 목표종에 대해서 발아율, 발아본수, 생육넓이, 생육높이, 식생피복도, 우점종 등을 별첨된 야장에 의거하여 주기적으로 측정한다. 또한 생육특성 외에 녹화기반재의 탈락 및 붕괴상태 등을 분석한다.

2) 평가

① 최종성립본수

시공 120일 경과 후에 생육본수를 측정한다. 생육본수의 판정은 시공지를 대표할 수 있는 곳에 처리구당 1㎡의 방형구를 3개소 이상 설치하여, 그 내부에 25cmx25cm의 격자틀을 이용하여 10회 이상 측정 후 1㎡의 성립본수로 환산한다.

② 피복율

시험시공 전면적에 대하여 사진촬영 후 실내에서 피복율을 계산한다. 시공 후 측정은 1개월 간격으로 4개월간 정기적으로 측정한 후 누계 피복율을 계산한다.

③ 식물 생육상태

시험시공 처리구당 식물의 병충해 발생 여부, 대표적인 개체의 생육상태(T/R율, 건조무게 등) 등을 5개월간 종합하여 판정

④ 녹화기반재의 탈락 및 붕괴

녹화기반재의 탈락 및 붕괴상태를 시험시공 전면적에 대하여 조사한다. 면적의 계산은 사진촬영 후 실내에서 탈락 및 붕괴면적을 계산한다.

⑤ 시공실적 평가

각 시공사별 기존 시공지중에서 대표적인 3개소를 대상으로 평가, 목본식물의 도입 및 생육상태, 생태적인 천이의 이행정도, 종다양성의 달성정도, 주변경관과의 어울림, 경관성 등을 기준으로 평가

⑥ 시공단가

시험시공지에 대한 총 공사비를 대상으로 하여 최저 공사비 기준으로 판정.

⑦ 시공의 적정성

녹화기반재 취부두께의 적정성, 공사 중 주변지역에 미치는 영향과 판정기준에 누락된 부분을 종합적으로 고찰하여 판정.

⑧ 시험시공결과의 최종 판정은 표 2.6의 기준에 따른다. 녹화기반재의 함유물질이 표 2.7의 기준에 적합하지 않을 경우는 실격하는 것으로 한다.

표 2.6 비탈면 녹화 시험시공 결과의 판정기준

구분	평가	항 목	측정시점	가중치	가중치	상(3)	중(2)	하(1)	기준	목표치	비 고
품질	정량적	재료 합격율		0	70				재료성분 분석	100%	기준 부적합시 실격
		목표종 성립본수	150일	30		90% 이상	70~89%	70% 미만	목표 본수 기준	90%	목표종별 달성율 합산
		식생피복도 달성율	30일 간격 5회	10		90% 이상	70~89%	70% 미만	피복면적 누계	100%	시험시공 전면적 대상
		식물생육상태	30일 간격 5회	10		양호	보통	불량	전문가 평가		처리구별 평가합산
		녹화기반재의 붕괴 및 탈락	30일 간격 5회	10		10% 미만	10~20%	21% 이상	붕괴·탈락 면적 누계	0%	시험시공 전면적 대상
	정성적	시공실적 평가		10		양호	보통	불량	전문가 평가		기 시공지에 대한 평가
경제성	정량적	시공단가		20	30	120% 미만	120~149%	150% 이상	최저가 시공비 기준		
	정성적	시공 적정성		10		적합	보통	부적합	전문가 평가		취부두께의 편향성 평가
합계				100	100						

(5) 평가의 결과

측정 및 평가방법에 의한 평가결과는 다음 표와 같다.

표 2.7 비탈면 녹화 시험시공 결과의 평점표

구분	평가	항 목	가중치	A공법	B공법	C공법	D공법	평점 산출 방법
품질	정량적	재료 합격율	0	적합	적합	적합	적합	암반취부녹화기반재의 환경기준 미달시 실격
		목표종 성립본수	30	12.64	7.50	8.14	8.36	(성립본수 / 목표본수) 누계 × 가중치
		식생피복도 달성율	10	6.01	8.80	8.81	8.88	식생피복율 누계 × 가중치
		식물생육상태	10	7.51	4.69	5.39	4.14	목표종 생육량 누계 × 가중치
		녹화기반재의 붕괴 및 탈락	10	10.00	10.00	10.00	10.00	(1— 붕괴 및 탈락비) × 가중치
	정성적	시공실적평가	10	8.00	8.00	8.00	10.00	목본 수림 형성 실적 기준
경제성	정량적	시공단가	20	20.00	15.00	11.83	5.79	최저가 / 시공가 × 가중치
	정성적	시공 적정성	10	10.00	5.00	7.30	4.83	100% / 취부두께 비율(%) ×가중치
합계			100	74.16	58.99	59.47	52.00	

나. 조경포장 분야[4)]

조경용 포장의 환경친화적인 기능이 중요해짐에 따라 한승호(2007)는 조경용 투수포장의 환경성능 평가에 대한 연구를 수행하였다. 한승호(2007)의 연구에서 요구성능 추출 및 성능평가에 관련된 사항을 발췌하여보면 다음과 같다.

(1) 중요도 조사에 의한 요구성능 추출

다음 표와 같이 조경용 투수포장의 환경기능을 3가지, 환경성능 평가요소를 14가지로 추출하고, 전문가를 대상으로 중요도를 조사하였다. 각 기능별로 중요도가 높은 성능평가요소를 3가지씩 추출하여 조경용 투수포장의 요구성능으로 선정하였다.

표 2.8 중요도 분석에 의한 조경용포장재의 요구성능 선정

기능구분	성능평가 대안요소	평 균
물환경	표면 유출	0.81
	투수 및 저류	0.95

4) 한승호(2007) 조경용 투수포장의 환경성능 평가기법 연구, 서울대학교 박사학위논문에서 발췌

	증발산	0.83
	수질 정화	0.73
열환경	표면온도 (최고/일교차)	0.82
	알베도	0.76
	잠열	0.71
	열용량	0.70
	열전도율	0.68
서식환경	식재 면적율	0.87
	공간 연결성	0.81
	토양 기능	0.82
	동식물 서식처 기능	0.73
	미세분진 흡착기능	0.69
전 체 평 균		0.78

(2) 성능평가 가중치 산정

성능평가의 가중치를 3가지 환경적 기능끼리 쌍대비교를 하여 항목별 가중치를 구한 다음, 동일 환경기능내의 평가요소들 끼리 쌍대비교를 하여 가중치를 구한다. 개별 평가요소와 항목별 비율에 의하여 전체적인 요소별 가중치를 구하면 다음 표와 같다.

표 2.9 조경용포장재의 환경성능평가요소별 가중치 산정

평가 항목	물환경항목			열환경항목			서식환경항목		
	0.457			0.235			0.308		
항목내 가중치	투수 저류	표면 유출	증발 산	표면 온도	알베 도	잠열	식생 면적	공간 연결	토양 기능
	0.521	0.209	0.270	0.392	0.323	0.285	0.395	0.310	0.295
요소별 가중치	0.244	0.098	0.127	0.086	0.071	0.062	0.123	0.097	0.092

(3) 성능평가 등급

환경성능평가요소의 등급은 기존의 연구 자료를 참고로 하며, 자료가 미흡한 것은 정량적 실험과 계측을 통하여 평가범위를 정하고, 5등급으로 구분하여 등급기준을 정한다. 가중치를 고려한 조경용포장재의 성능평가 등급기준은 다음 표와 같다.

표 2.10 조경용포장재의 환경성능평가 등급기준

환경적 기능	환경성능 평가요소	평점		계측 방법	세부성능평가 등급기준	가중치	
물환경	투수 및 저류	매우우수	5	투수면율 × 채움재 투수율	$k\times10^{-1}$(cm/s)	0.244	10.980
		우수	4		$k\times10^{-2}$(cm/s)		8.784
		보통	3		$k\times10^{-3}$(cm/s)		6.588
		미흡	2		$k\times10^{-4}$(cm/s)		4.392
		매우미흡	1		저류기능 없음		2.196
	표면 유출	매우우수	5	잔디유출저감 상대비율	잔디유출저감율 보다 높음	0.098	4.410
		우수	4		잔디유출저감율의 75~100%		3.528
		보통	3		잔디유출저감율의 50~75%		2.646
		미흡	2		잔디유출저감율의 25~50%		1.764
		매우미흡	1		잔디유출저감율의 25%미만		0.882
	증발산	매우우수	5	투수면율 × 채움재 증발산율	잔디포장 증발산율의 80%이상	0.127	5.715
		우수	4		잔디포장 증발산율의 40~80%		4.572
		보통	3		잔디포장 증발산율의 20~40%		3.429
		미흡	2		잔디포장 증발산율의 10~20%		2.286
		매우미흡	1		잔디포장 증발산율의 10% 미만		1.143
열환경	표면온도	매우우수	5	여름철 표면온도 일교차범위	여름철 일교차 12.5~17.5℃	0.086	3.870
		우수	4		여름철 일교차 17.5~22.5℃		3.096
		보통	3		여름철 일교차 22.5~27.5℃		2.322
		미흡	2		여름철 일교차 27.5~32.5℃		1.548
		매우미흡	1		여름철 일교차 32.5~37.5℃		0.774
	알베도	매우우수	5	여름철최저알베도 평균	알베도 40% 이상	0.071	3.195
		우수	4		알베도 30~40%		2.556
		보통	3		알베도 20~30%		1.917
		미흡	2		알베도 10~20%		1.278
		매우미흡	1		알베도 10%이하		0.639
	잠열	매우우수	5	잔디포장 잠열 상대비율	잔디포장 잠열기능의 80%이상	0.062	2.790
		우수	4		잔디포장 잠열기능의 40~80%		2.232
		보통	3		잔디포장 잠열기능의 20~40%		1.674
		미흡	2		잔디포장 잠열기능의 10~20%		1.116
		매우미흡	1		잔디포장 잠열기능의 10% 이하		0.558

표 2.10 계속

환경적 기능	환경성능 평가요소	평점		계측 방법	세부성능평가 등급기준	가중치	
서식 환경	식생면적	매우우수	5	식생가능 면적율	잔디피복률의 80이상	0.123	5.535
		우수	4		잔디피복률의 60~80%		4.428
		보통	3		잔디피복률의 40~60%		3.321
		미흡	2		잔디피복률의 20~40%		2.214
		매우미흡	1		잔디피복률의 20%미만		1.107
	공간연결	매우우수	5	연결성과 내부 유효공간	연속공간 + 내부매우양호	0.097	4.365
		우수	4		연속공간 + 내부양호		3.492
		보통	3		연속공간 + 내부보통		2.619
		미흡	2		단절공간 + 내부양호		1.746
		매우미흡	1		단절공간 + 내부보통		0.873
	토양기능	매우우수	5	식생가능 면적율과 내부 유효공간	잔디피복률60%이상+내부양호	0.092	4.140
		우수	4		잔디피복률60%이상+내부보통		3.312
		보통	3		잔디피복률20~60%+내부양호		2.484
		미흡	2		잔디피복률20~60%+내부보통		1.656
		매우미흡	1		잔디피복률 20%미만		0.828

(3) 성능평가결과

환경성능평가 등급기준을 적용한 포장유형별 성능평가 결과는 다음 표와 같다.

표 2.11 조경용포장재의 환경성능 평가결과

포장 유형구분		물환경			열환경			식생환경			소계	평균
		투수 저류	표면 유출	증발산	표면 온도	알베도	잠열	식생 면적	공간 연결	토양 기능		
A	콘크리트 골재틈새	4	4	1	3	2	1	0	0	0	17	1.889
B	콘크리트 골재중공	5	5	1	3	2	1	0	0	0	19	2.111
C	콘크리트 잔디틈새	3	3	2	3	2	2	1	3	1	21	2.333
D	콘크리트 잔디연결공간	4	4	4	4	3	4	4	4	4	35	3.889
E	콘크리트 잔디단절공간	4	4	3	4	2	3	2	1	2	26	2.889
F	합성수지 셀골재포설	5	5	2	2	3	2	0	0	1	20	2.222

G	합성수지 잔디연결공간	4	4	5	5	3	5	5	5	5	41	4.556
H	합성수지 잔디단절공간	4	4	5	5	3	5	5	2	5	38	4.222
I	합성수지석재 잔디연결공간	4	4	4	4	5	4	3	4	3	35	3.889
J	골재포설	5	5	2	2	3	2	0	0	1	20	2.222
K	우드칩포설	5	5	2	1	4	2	0	0	2	21	2.333
L	흙다짐포장	2	2	2	4	3	2	0	0	2	17	1.889
M	투수콘크리트	3	3	1	2	2	1	0	0	0	14	1.556
N	투수아스팔트	3	3	1	1	1	1	0	0	0	10	1.111
O	배수성포장	1	3	1	2	2	1	0	0	0	12	1.333
P	보수성포장	1	2	3	3	2	3	0	0	0	16	1.778
Q	급수성포장	1	3	5	5	2	5	0	0	0	23	2.556
R	우드데크	5	5	5	1	4	5	5	5	5	40	4.444

다. 평가관련 분야의 연구 동향

성능기준의 작성에 있어서의 기술적인 어려움은 성능평가에 있으므로 국내에서의 조경분야 평가에 관련된 연구동향을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 경관평가 관련 연구동향

1) 윤희정, 김혜민(2006) CRM을 이용한 친환경농업의 경관가치 평가, 한국조경학회지, Vol.34, No.1, 37-47,

2) 권오상(2000) 조건부 가치측정법을 이용한 편익의 측정, 서울대학교 경제학부 석사학위 논문

3) 이병주, 박상명, 남궁문(2006) 감성데이터를 이용한 보도환경의 경관평가에 관한 연구, 대한토목학회논문집D, 26(2) 265-273.

4) 정동진, 백진기, 고은미(2005)조건부 가치측정법을 이용한 도로경관가치 평가 - 겸재교 건설계획안을 대상으로 자연과 문명의 조화 53(6) 70-75

5) 서주환, 양희승 (2004)AHP 기법을 활용한 경관평가법 작성에 관한 연구 -경관통제점에서의 평가- 한국조경학회지, .32(4,) 94-104,

(2) 열환경 평가관련 연구동향

1) 김상백 , 엄향희, 권병혁, 오성남, 김연희 (2004) 도심지의 열환경 평가를 위한 열

수지 모델의 검증, Journal of the Korean Meteorological Society 40(2) 147-158
2) 구현숙, 김해동 (2005) 대구 달비골 지역의 열환경평가, 환경과학논집,10(1) 239-243
3) 김연희, 엄향희 , 오성남 , 김상백(2003) 청계천 구역 집중 관측에 따른 서울의 열환경 특성평가, 대기 (Atmosphere), 13(.3) 330-331

(3) 우수저류 및 침투 평가 관련 연구동향

1) 김이호, 김성은, 김영민, 이상호, 이정훈 (2006) 우수저류침투시설에 있어서 유출저감 특성 해석을 위한 모델 적용, 대한상수도학회 2006년도 공동춘계 학술발표회 논문집, 334-338
2) 김이호, 김영민, 이상호 (2003)시뮬레이션 기법을 이용한 규모별, 지역특성별 최적저류용량 산정, 한국물환경학회, 2003년도 공동 추계 학술발표회 논문집, 65-68
3) 장관순, 정헌준(2006) 대전지역 자연환경림 관리 및 기능평가를 위한 물질순환 모델화, 환경관리학회지, Vol.12, No.1, 1-10,

(4) 생물서식지 평가 관련 연구동향

1) 유정칠, 권영수(2005) 아산(평택)만 일대의 조류 서식지 평가, 한국조류학회지 1-18,
2) 나정화, 사공정희, 류연수(2001) 도시공원과 녹지 ; 비오톱 연계망 구축을 위한 서식공간 평가 - 대구시 수성구를 중심으로 -, 한국조경학회지, 29(.1) 67-79
3) 나정화, 류연수(2003) 도시 경관생태계획 지표설정 및 중요도 평가 - 대구광역시를 중심으로 - 대한국토도시계획학회지 38(1) 21-35
4) 권오상(2000) 가상순위 결정법을 이용한 자연생태계의 경제적 가치 평가, 경제학연구 48(3): 177-196
5) 권진오, 조현제, 최명섭, 오정학(2005) 도시내 고립(孤立)된 임지(林地)의 식생경관 특성과 비오톱 다양성 평가: 대구광역시 3개 공원을 대상으로, 한국임학회지 94(.6) 462-467
6) 안광국, 정승현, 최신석(2001) 생물보전지수(Index of Biological Integrity) 및 서식지 평가지수(Qualitative Habitat Evaluation Index)를 이용한 평창강의 수환경

평가, 한국육수학회지, 34(3) 153-165

7. 건축기계설비 분야 국내 기술개발 현황

가. 기술기준현황

5)국내에서 현재 적용되고 있는 건축기계설비 분야 성능중심 기술기준현황은 건축기계설비공사 표준시방서를 비롯하여 설계기준 등 여러 종류의 공사 기준과 건축기계설비에 사용되고 있는 자재, 장비류의 성능에 관련된 산업규격, 단체규격 건축물 환경 및 에너지 인증기준 등이 제정되어 활용되고 있으며 최근에는 여러 종류의 건축물 인증제도가 시행되고 있다. 공사와 관련된 기술기준 현황은 다음 표와 같다.

표 2.12 건축기계설비 건설공사 기준

기준명	제·개정년도	담당기관
건축기계설비공사 표준시방서	2007년	대한설비공학회
산업설비공사 일반표준시방서	2007년	대한설비건설협회
건축기계설비 설계기준	2005년	대한설비공학회
건축기계설비 표준상세도	2001년	설비엔지니어링 협의회
TAB 기술기준	2005년	대한설비공학회
급배수 위생설비 기술기준	1999년	대한설비공학회

건축기계설비분야는 타 공종에 비하여 많은 종류의 장비와 자재가 투입되어지고 있으나 아직 상당한 종류가 기술기준이 정비되어 있지 못하며, 또한 설계도서류에서도 관련분야의 연구미비와 관련업체에서의 민원발생 등을 고려하여 성능에 대한 사항을 명시하고 있지 못하다. 자재 및 장비에 대한 성능기준 현황은 한국산업규격, 공공기관인증 학술단체의 성능인증 등의 여러종류의 인증절차를 수행하도록 하여 일정 수준의 성능을 유지하도록 하고 있으나, 사후관리가 미흡하고 또한 고효율 성능과 내구성에 대한 기준은 정립되어 있지 못하다.

한국설비기술협회에서는 아래 표와 같이 46종의 단체표준을 제정하고 이중 3종에

5) 박종일 외, 건축설비 계약 관계법규 개선방안 연구, 대한설비공학회 2002

대하여 인증제도를 도입하여 품질관리하고 있으나 다음과 같은 문제점이 나타나고 있다.

① 장비성능의 표준화 관점에서 설비기술협회에서 표준의 품질관리를 수행하고 있는 46개 제품 중에서 기준제정 이후 품질유지 및 관리를 위한 인증사업을 수행하는 제품은 "폐열회수용 환기유닛", 비데, 정풍량 욕실환기팬임.

② 기술기준서에 적용하는 건축기계설비의 장비, 자재류의 성능 및 시험방법에 관련된 기본적인 규격의 제정이 미비하고, 기 제정된 내용도 국제 표준과의 적용성이 부족하여 산업계에서의 활용도가 적으며 국제화에 장애요소가 됨.

③ 건축물의 기계설비 시스템에 대한 전반적인 성능 기준 및 성능 확인 프로세스가 확립되어 있지 않아 이에 대한 평가 및 판단을 할 수 없으며 업체에서의 활용도가 낮음.

표 2.13 한국 설비기술 협회 규격현황

NO.	규격명	비고
0001	항온항습기	
0002	항온항습기 시험방법	
0003	기계통풍식 냉각탑	
0004	기계통풍식 냉각탑 시험방법	
0005	익형 송풍기	
0006	축류 송풍기	
0007	공기취입·취출구	
0008	공기취입·취출구의 성능 시험방법	
0009	공기조화용 댐퍼	
0010	공기조화용 댐퍼 성능 시험방법	
0011	흡수 냉온수기용 가스버너	
0012	흡수 냉동기용 펌프	
0013	공기조화용 덕트 및 부품	
0014	소형 공랭식 콘덴싱 유닛	
0015	난방용 열교환기 및 급탕가열기	
0016	공기조화용 덕트누기 시험방법	
0017	공조용 덕트소음기 시험방법	
0018	후향익 송풍기	
0019	냉동용 유닛 쿨러	
0020	대형 콘덴싱 유닛	
0021	워터 햄머 흡수기	
0022	밀폐식 팽창 탱크	
0023	관류형 송풍기	

0024	냉각 제습기	
0025	축류형 사류 송풍기	
0026	부스타 펌프 시스템	
0027	빙축열 시스템	
0028	기화식 가습기	
0029	듀얼플레이트 체크밸브	
0030	폐열회수 환기유닛	인증 실시중
0031	흡수 냉동기용 앵글 밸브	
0032	흡수 냉동기용 서비스 밸브	
0033	흡수 냉동기용 다이아프램 밸브	
0034	흡수 냉동기용 추기 펌프	
0035	흡수 냉동기용 파라디움 셀	
0036	흡수 냉동기용 가용전	
0037	주택용 주방환기장치	
0038	온수 세정식 비데	인증 실시중
0039	냉·난방용 무동력 공기분리기	
0040	소형 제빙기	
0041	소형 제빙기 성능시험방법	
0042	연소가스 배기용 조립식 스테인리스 이중 파이프 장치	
0043	고무 발포 단열재	
0044	정풍량 욕실 환기팬	인증 실시중
0045	공동주택 급수용 감압밸브	
0046	소방용 구역밸브	

또한 설비분야의 성능 확보와 외부환경에의 영향 최소화, 에너지 절약, 쾌적한 환경유지, 건물에서의 유비쿼터스(ubiquitous) 적용 등의 요구에 의하여 친환경 건축물 인증제도, 건물 에너지 효율 등급 인증제도, 주택성능등급 표시제도, 초고속 통신 건물인증제도, 공동주택 바닥충격음 규정, 신축공동주택 실내공기질 권고 등에 관한 규정과 제도가 시행되고 있다.

국내 기술기준의 내용에는 공사 수행에 필요한 일반적이고 공통적인 사항에 대하여 평이하게 제시되고 있어 건축물의 성능 향상에는 크게 도움이 되고 있지 못하다. 이는 국내의 전반적인 건설공사 기준수준에 준하여 작성되고 있기 때문으로 보여지며, 이는 현재 건설산업에서 적용하고자 하는 성능기준과는 거리가 있는 실정이며 이에 대한 구체적인 사항은 다음과 같다.

① 건축기계설비관련 기준의 내용 및 종류가 극히 한정된 사항에 대하여 발행되어 있어 전체기술분야의 필요사항을 충족시키지 못하고 있다.

② 기준에 제시하고 있는 내용은 범용으로 채택할 수 있는 일반적이고 공통적인 범위로 서술하고 있어 산업체에서의 활용도가 적다.

③ 건축기계설비의 장비, 자재류의 성능 및 시험방법에 관련된 기본적인 규격의 제정이 미비하며, 기제정된 내용도 국제 표준과의 적용성이 부족하여 산업계에서의 활용도가 적다.

④ 인증에 의하여 생산된 자재 장비류에 대하여 사후 관리가 미흡하여, 지속적인 품질 유지가 어렵다.

⑤ 건축물의 기계설비 시스템에 대한 전반적인 성능 기준 및 성능 확인 프로세스가 확립되어있지 않아 이에 대한 평가 및 판단을 할 수 없다.

⑥ 기술기준 제정 및 개정을 위한 예산의 부족으로 필요한 새로운 기준의 제정은 거의 불가능한 수준이며, 또한 예산 지원의 지연으로 인하여 기 발행된 기준의 개정 주기가 너무 길어 새로운 기술의 적용, 변경 내용의 채택 등이 지연되고 있어 기준의 활용도가 적다.

⑦ 국내 기술기준의 목차 등 분류체계가 현재의 산업활동 내용에 일치하지 않는 부분이 많으며 건축기계설비시방에 전기, 건축, 토목 등의 설비공사에 필요한 내용을 포함하고 있는 등 중복되어져 있는 사항이 많다.

따라서 건축물의 기계설비분야에 대하여 환경과 에너지의 성능평가를 위한 성능중심의 설계기술, 적용기준, 시방서, 장비 자재류의 관련규격 및 시험방법 등의 개발을 통하여 국내설비관련 산업의 기술을 향상시켜 국제화에 기할 수 있도록 하여야 한다.

나. 인증제도 현황

(1) 친환경 건축물 인증제도

(가) 개요

우리나라에서는 1999년 건설교통부와 환경부에서 친환경 건축물 인증과 관련된 제도를 각각 마련하여 시범적으로 운영하였다. 이를 통해 1999년 10월~2000년 12

월 기간 동안 대한주택공사 주택도시연구원(건설교통부, 주거환경 우수주택 시범인증제도) 및 (주)한국능률협회인증원(환경부, 그린빌딩 시범인증제도)를 통해 총 25개 공동주택에 대한 시범인증이 이루어진 바 있다. 그러나 유사한 제도가 중복되어 시행될 경우 혼란이 발생할 수 있고 관련 업계 부담이 가중될 수 있으므로, 두 제도를 통합하기로 하고 실무팀 구성 및 의견 수렴 과정 등을 거쳐 2001년 12월에 통합된 친환경 건축물 인증평가 기준이 마련되었다. 2002년 1월에는 대한주택공사 주택도시연구원, 한국에너지기술연구원, (주)한국능률협회인증의 3개 기관이 인증업무를 수행해 나갈 인증기관으로 지정됨으로써 친환경건축물 인증제도가 비로소 시작되게 되었다. 이 제도는 공동주택을 대상으로 2002년부터 시행되어, 2003년에는 주거복합 건축물과 업무용 건축물이 추가되었으며, 2006년에는 판매시설 및 숙박시설이 추가되어 시행중에 있다.

(나) 인증제도 운영체계

인증기관은 인증신청 건축물의 심사를 위하여 인증심사단(내부 심사원)과 인증심의위원회(외부 심사원 혹은 전문가)를 구성하여 운영하도록 하고 있다. 인증심사단에서는 인증시 제출되는 서류와 도면, 관련자료 등을 바탕으로 1차 평가를 실시하고, 인증심사의위원회에서는 인증심사단 1차 평가결과를 재심사함으로써 공정하고 객관적인 인증심사가 이루어지도록 하고 있다. 인증등급은 최우수와 우수의 2개 등급으로 구분하며, 최우수 친환경 건축물은 85점 이상, 우수 친환경 건축물은 65점 이상 획득한 건축물이 된다.

인증기관은 인증기준에 적합하게 설계, 시공되어 건축법 제 18조의 규정에 의한 사용승인 혹은 주택법 제 29조의 규정에 의한 사용검사 등을 받은 건축물을 대상으로 인증(본인증)을 수여하되, 신청인의 요청에 따라 설계시에 반영된 내용을 대상으로 심사하여 예비인증을 수여할 수 있게 되어 있다. 친환경 건축물의 인증 유효기간은 5년으로 5년간 연장가능하며, 10년 이후에는 재신청해야 하고, 예비인증의 경우에는 해당 건축물의 사용승인 혹은 사용검사일까지 유효하다.

운영기관은 건설교통부와 환경부가 2년간 교대로 담당하며, 친환경 건축물 인증제도 시행과 관련한 제반 사항을 상호 협의하여 수행하고, 인증제도 운영과 관련된 주요사항을 심의하기 위하여 인증운영 위원회를 구성하고 운영하고 있으며 그 프로세스는 다음 그림과 같다.

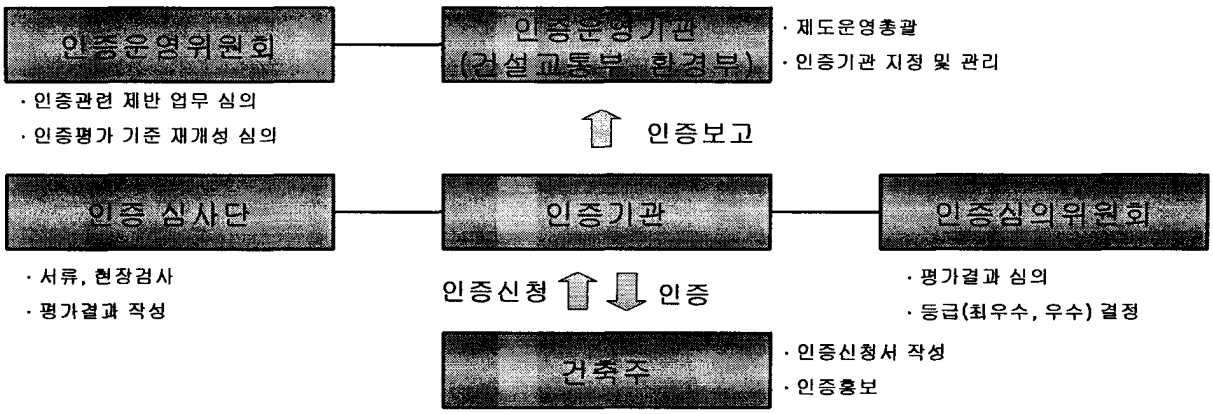


그림 2.1 친환경 건축물 인증제도 운영시스템

(2) 건물에너지 효율등급 인증제도

(가) 개요

건축에너지효율등급 인증제도의 개요는 인증제도를 통하여 건물의 에너지 성능이나 주거환경의 질 등과 같은 객관적인 정보를 제공받고 건물의 가치를 인정받음으로써, 건설사업주체, 소유주체, 관리주체 및 건물사용자 등 건물과 관련된 모두에게 이익이 돌아가도록 하기 위한 제도이다. 또한 건물부문에서의 합리적인 에너지 절약을 위한 건물에서 사용되는 에너지에 대한 정확한 정보를 제공하여 에너지 절약 기술에 대한 투자를 유도하고 경제적 효과를 가시화하여 에너지절약 인식을 제고함과 동시에 편안하고 쾌적한 실내환경을 제공하기 위한 목적으로 계획에 의거 에너지소비가 많은 공동주택에 대하여 이 제도를 도입하게 되었다. 이에 대한 제도시행 관련 근거는 다음과 같다.

① 건물에너지효율등급 인증에 관한 규정(산업자원부 고시, 제 2001-100호)

② 에너지이용 합리화를 위한 자금지원지침(산업자원부 공고, 제 2001-163호)

③ 건물에너지 효율등급 인증제도 운영기준

(나) 인증방법 및 절차

건물에너지 효율등급은 18세대 이상의 신축 공동주택을 대상으로 하며 건설사업주체가 인증 신청을 할 수 있다. 인증의 신청은 대상건축물중 신청조건과 신청서류가 완비되면 언제라도 신청이 가능하며 건축공사의 인허가 절차와 관계없이 별도로 진행이 될 수 있다. 신청건물의 에너지 효율을 기술적으로 평가하기 위한 기관은 한국에너지기술연구원과 한국건설기술연구원, 에너지관리공단이며 인증체계는 예비

인증과 본인증으로 나뉘며 각 인증 단계의 내용은 다음과 같다.

① 예비인증

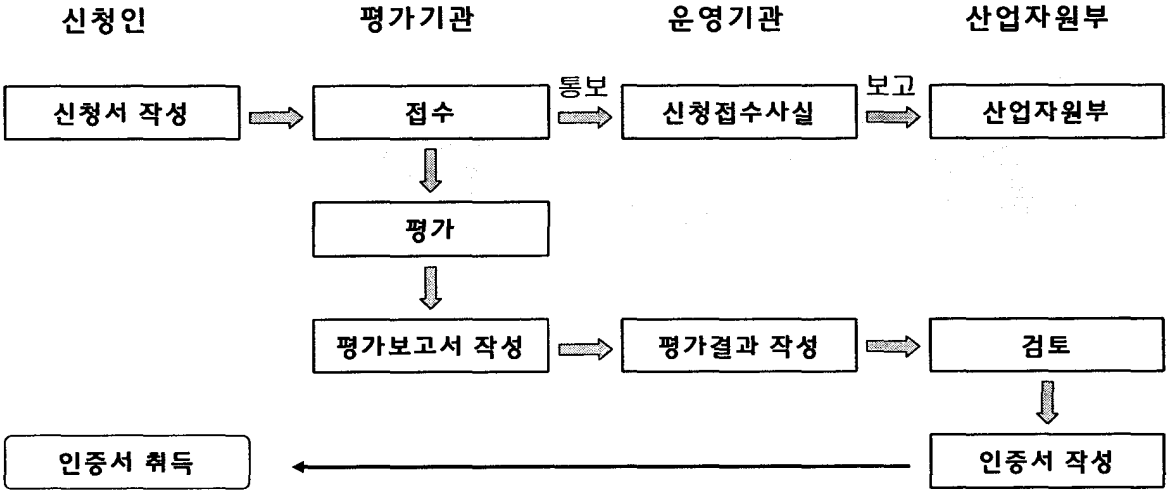
신청주택의 완공 전에 설계도면 등을 통하여 건물에너지효율등급 인증에 관한 규정(산업자원부고시 제 2005-10호), 건물 에너지효율등급 인증제도 운영 규정 및 건물 에너지효율등급 인증에 관한 평가지침에 의해 평가된 결과를 토대로 등급을 인증하는 것을 말한다.

② 본인증

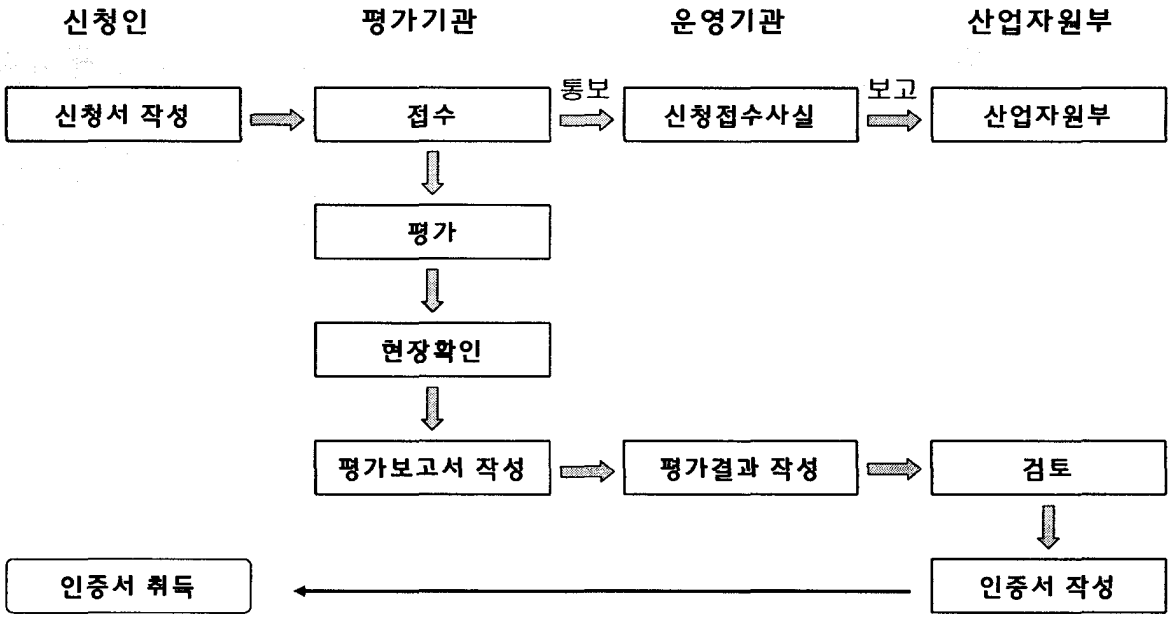
신청주택의 완공 후에 건물 에너지효율등급 인증에 관한 규정(산업자원부고시 제 2005-10호), 건물에너지효율등급 인증제도 운영규정 및 건물 에너지 효율등급 인증에 관한 평가 지침에 의해 최종설계도면 및 현장실사를 거쳐 최종적으로 평가된 결과를 토대로 등급을 인증하는 것을 말한다.

③ 인증등급 및 표시

인증심사를 합격하면 산업자원부장관 명의의 에너지효율등급 인증서를 교부하며, 2등급 이상(표준주택 대비 에너지절감율 23.5% 이상)의 예비인증 취득시에는 착공계 제출시점에 에너지이용합리화자금의 저리융자를 제공 받을 수 있게 된다. 예비인증된 주택에 대해서는 각종 광고 및 견본주택에 해당 등급의 인증마크를 사용할 수 있다. 다만, 건물완공 후 최종심사에서 인증부여 및 등급이 달라질 수 있음을 동시에 알려야 한다. 이러한 인증 절차의 과정은 다음 그림과 같다.



(1) 예비인증절차



(2) 본인증 절차

그림 2.2 건물에너지 효율 등급 인증절차

(3) 주택성능등급 표시제도

(가) 개요

"주택성능등급 표시제도"는 건설교통부가 공동주택의 품질을 향상시키고 입주자에게 충실하고 정확한 주택정보를 전달하는 등 양질의 주택생산을 유도하려는 목적으로 도입되었으며, 건설교통부 고시 제 2006-14호에 의해 2006년 1월 9일부터 2,000세대 이상의 공동주택 단지를 대상으로 실시되고 있으며, 이후 2008년부터는 그 대상이 1,000세대 이상의 단지로 확장되게 된다.

주택성능등급 표시제도는 주택성능 등급을 평가·표시하기 위한 성능항목으로서 소음관련, 구조관련, 환경관련, 생활환경 관련, 화재·소방관련의 5개 부문으로 나누고, 다시 14개 성능범주 및 총 20개의 세부 성능항목으로 구성되어 있다.

주택에 대한 성능등급 인정을 받고자 하는 자는 주택성능등급인정신청서에 신청자가 자체 평가하여 작성한 주택성능등급 평가서와 도서를 첨부하여 인정기관에 신청한다. 인정기관은 신청된 주택에 대하여 인정절차에 따라 20일 이내에 주택성능등급 인정서를 교부하게 되며, 불가피한 사유로 인하여 처리기간의 연장이 필요한 경우 1회에 한하여 10일 이내에 처리할 수 있도록 하여 처리기간은 총 30일을 초과하지 않도록 하고 있다.

(나) 표시제도 평가항목

주택성능 등급을 평가·표시하기 위한 성능항목은 소음관련, 구조관련, 환경관련, 생활환경관련, 화재·소방관련의 5개 부문으로 나누고 다시 14개 성능범주로 구성되어 있으며, '수리용이성' 등의 성능범주는 세부성능항목을 가져 총 20개의 세부성능항목으로 구성되어 있다.

주택성능등급 평가지표의 기준은 법규가 있는 경우에는 법규를 최하위 등급으로 설정하고 법규가 없는 경우에는 일반적인 수준을 최하위 등급으로 설정한다. 상위 등급은 등급별 상황에 따라 설정하고 등급구분에 대한 객관성을 모색하도록 하였다. 성능등급은 평가분야별, 항목별로 1~4등급(일부 항목 1~3등급)으로 구분하여 1등급을 최상위 등급으로 하고 숫자가 높을수록 상대적으로 낮은 등급을 표시한다.

각 항목의 성능등급 기준 및 세부자료는 주택성능등급 인정 및 관리기준에 제시되어 있으며 이에 대한 평가항목은 다음 표와 같다.

표 2.14 주택성능등급표시제도 평가항목

성능부문	성능범주	세부 성능항목	등급구분
소음관련 등급	경량충격음		4
	중량충격음		4
	화장실 소음		4
	경계소음		3
구조관련 등급	가변성		4
	수리용이성 (리모델링 및 유지관리)	전용부분	4
		공용부분	4
	내구성		3
환경관련등급	조경 (외부환경)	외부공간 및 건물 외피의 생태적 기능	4
		자연토양 및 자연지반의 보전	4
	일조 (빛환경)		4
	실내공기질	실내공기오염물질 저방출자재의 적용	3
		단위세대의 환기성능 확보	3
	에너지성능 (열환경)		4
생활환경 등급	놀이터 등 주민공동시설		3
	고령자 등 사회적 약자의 배려	전용부분	3
		공용부분	3
화재소방 등급	화재 · 소방	화재감지 및 경보설비	3
		배연 및 피난 설비	3
		내화 성능	3

8. 건축전기설비 분야 국내 기술개발 현황

가. 한국산업규격의 성능 개념 도입 현황

국내의 경우에도 1990년대부터 시작된 한국산업규격의 IEC(국제전기위원회) 부합화 작업에 따라 국제적인 기준에 부합시키려는 노력은 꾸준히 시도되고 있으나 아직 가시적인 성과는 미미한 실정이다. 이에 따라 국제적인 기준에 부합되고 국내의 건축전기설비 상황에도 적용될 수 있는 성능 중심 설계의 표준화가 절실하게 필요하다.

KS(Korean Industrial Standard)는 공업표준 심의회의 의결을 거쳐서 산업자원부장관이 공업표준을 지정한 것을 말한다. 한국산업규격 내용 중 KS F ISO 6241(건축물 성능 표준, 2001)에서 정하고 있는 사용자의 요구 조건에 대한 성능을 정의하고 있으며, 전기설비 관계되는 규정으로는 KS C에서 전기공업에 대한 표준 등을 정하고 있다.

표 2.15는 KS F ISO 6241(건축물 성능 표준, 2001)에서 정하고 있는 사용자의 요구 조건으로 건물이 충족해야 하는 사용자 요구조건을 여러 범주들로 구분하여 수록하고 있는 사항이며, 전기설비와 관계되는 사항을 정리한 것이다.[6)]

나. 성능평가 관련 제도 현황

(1) 주택성능등급 표시제도

(가) 도입 배경

주택성능등급 표시제도는 주택법 개정(2005.1.8)에 의거 2006년 1월 9일부터 주택의 주요 성능을 등급화하여 공표함으로써 소비자에게 정확한 정보를 제공하고 주택의 품질 향상을 유도하기 위해 시행되었다. 특히 본 제도를 시행함으로써 공동주택의 전반적인 품질 향상과 성능 향상 요구에 부응하고 입주자에게 충실하고 정확한 주택정보를 전달하는 등 양질의 주택생산을 유도하려는 목적으로 도입되었다. 아래

6) KS F ISO 6241(건축물 성능 표준), 2001

그림은 주택성능등급 표시제도의 개요에 대해서 나타낸 것이다.

표 2.15 KS F ISO 6241(건축물 성능 표준, 2001)의 사용자 요구 조건

구 분	예
1. 화재 안전에 대한 요구조건	- 화재의 발생 및 화재의 확산 위험 - 연기나 열에 의한 생리학적 영향 - 경보 시간(탐지 및 경보시스템) - 대피 소요시간(피난 경로) - 체류 허용시간(방화 구획)
2. 사용 안전에 대한 요구 조건	- 이동 및 활동 중의 안전(마닥의 미끄럼 제한, 장애물이 없는 통행, 가드레일 등) - 사람 또는 동물의 침입에 대한 안전
3. 음향에 대한 요구조건	- 내부, 외부 소음 조절(간헐적, 지속적) - 음의 인지 - 잔향 시간
4. 시각적 요구 조건	- 자연광과 인공광(요구되는 조도, 현휘 차단, 광도 대비, 안정성) - 일광(차단) - 어두워질 가능성
5. 촉각적 요구 조건	- 정전기의 차단 - 표면의 특성, 거침, 건조함
6. 동역학적 요구 조건	- 건축물 전체의 진동 한계(일시적, 연속적) - 이동의 용이성 - 기동성(문, 창문, 조절장치의 작동 등)
7. 내구성에 대한 요구조건	- 정기적인 유지관리 하에서 요구되는 유효 수명기간 중 요구되는 성능 유지
8. 특수 공간의 적정성에 대한 요구 조건	- 공간의 수, 규모, 기하학적 형태, 분할, 상관 관계 - 설비 및 장치 - 가구의 비치 여부, 융통성
9. 경제적 요구 조건	- 투자비용, 운영 및 유지보수 비용 - 해체 비용

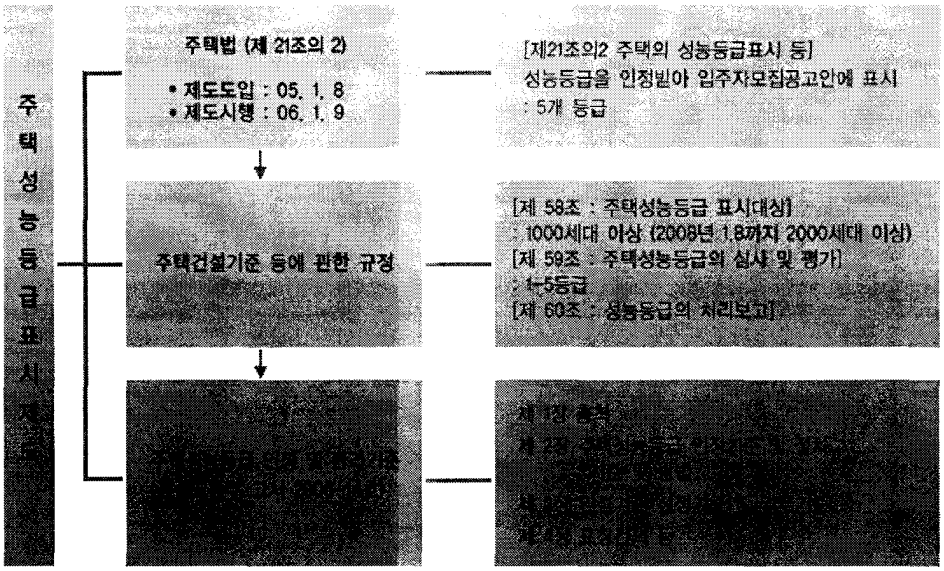


그림 2.3 주택성능등급 제도 개요

(나) 인증대상 및 심사시기

건설교통부 고시 제2006-14호에 의해 2,000세대 이상의 공동주택 단지를 대상으로 실시되고 있으며, 이후 2008년부터는 그 대상이 1.000 세대 이상의 단지로 확대되게 된다.

주택에 대한 성능등급 인정을 받고자 하는 자는 주택성능등급 인정 신청서에 신청자가 자체 평가하여 작성한 주택성능등급 평가서와 도서를 첨부하여 인정기관에 신청한다. 인정기관은 신청된 주택에 대하여 인정 절차에 따라 20일 이내에 주택성능등급 인정서를 교부하게 되며, 불가피한 사유로 인하여 처리기간의 연장이 필요한 경우 1회에 한하여 10일 이내에 처리할 수 있도록 하여 처리기간은 총 30일을 초과하지 않도록 하고 있다.

(다) 표시제도 평가 방법

주택성능등급 표시제도는 주택성능 등급을 평가, 표시하기 위한 성능 항목으로서 소음 관련, 구조 관련, 환경 관련, 생활 환경 관련, 화재·소방 관련의 5개 항목으로 나누고 다시 14개 성능 범주 및 총 20개의 세부 성능 항목으로 구성되어 있다. 다음 그림은 주택성능등급의 개념도를 나타낸 것이다.[7]

7) 주택성능등급표시제도-GOOD HOUSING 06-, 건설교통부

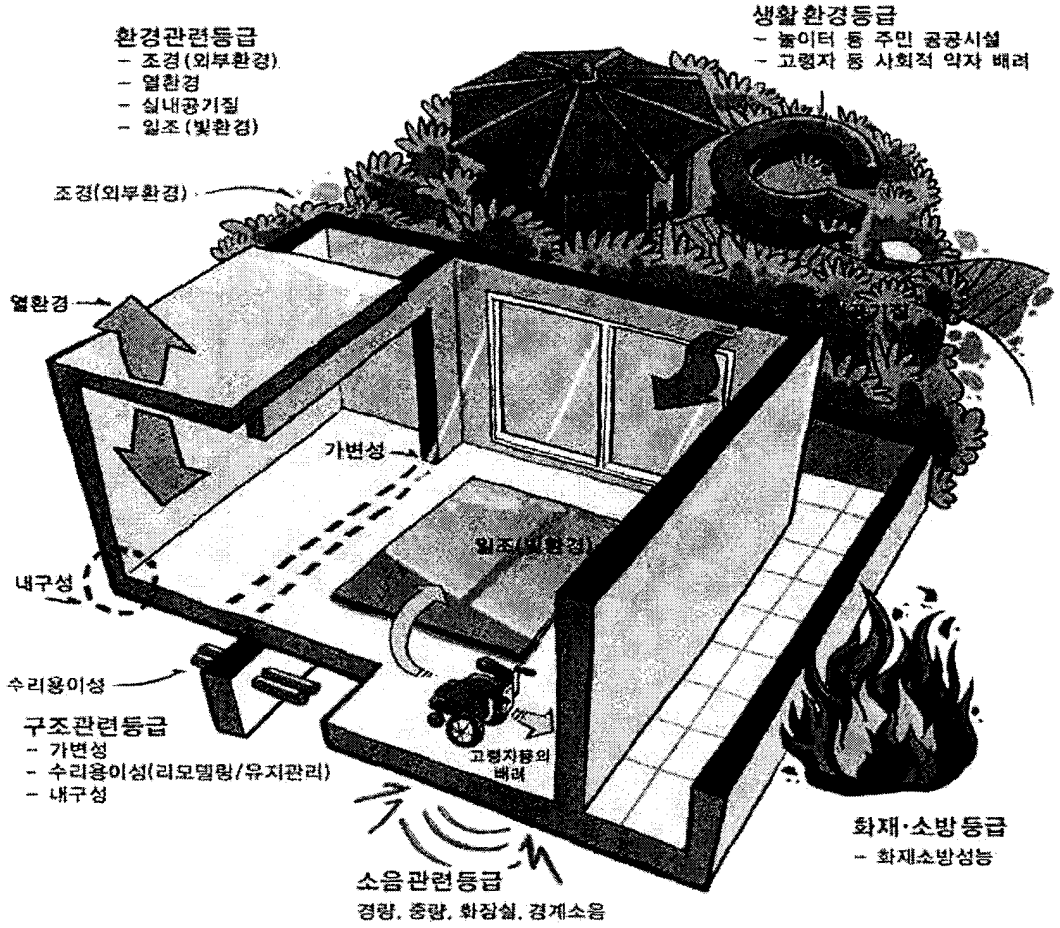


그림 2.4 주택성능등급의 개념도

다음 표는 성능 범주 및 세부 성능항목과 등급 구분을 나타낸 것이며, 주택성능 등급 평기지표의 기준은 법규가 있는 경우에는 법규를 최하위 등급으로 설정하고, 법규가 없는 경우에는 일반적인 수준을 최하위 등급으로 설정한다.

표 2.16 주택성능 등급 표시제도

성능 부문	성능 범주	세부 성능항목	등급 구분
소음 관련 등급	경량 충격음		4
	중량 충격음		4
	화장실 소음		4
	경계 소음		3
구조 관련 등급	가변성	전용 부분	4
	수리 용이성	공용 부분	4

	(리모델링 및 유지관리)		
	내구성		3
환경 관련 등급	조경(외부 환경)	외부공간 및 건물 외피의 생태적 기능	4
		자연 토양 및 자연 지반의 보전	4
	일조(빛 환경)		4
	실내 공기질	실내 공기 오염물질 저방출 자재의 적용	3
		단위 세대의 환기 성능 확보	3
	에너지성능(열 환경)		4
생활 환경 등급	놀이터 등 주민 공동시설		3
	고령자 등 사회적 약자의 배려	전용 부분	3
		공용 부분	3
화재·소방 등급	화재 · 소방	화재감지 및 경보설비	3
		배연 및 피난설비	3
		내화 성능	3

상위 등급은 등급별 상황에 따라 설정하고 등급 구분에 대한 객관성을 모색하도록 하였다. 성능 등급은 평가분야별, 항목별로 1 - 4 등급(일부 항목 1 - 3 항목)으로 구분하여 1등급을 최상위 등급으로 하고, 숫자가 높을수록 상대적으로 낮은 등급을 표시한다. 세부 자료는 주택성능등급 인정 및 관리기준에 제시되어 있다.

(라) 인증기관

대한주택공사, 한국건설기술연구원, 대한주택보증주식회사, 한국감정원, 한국시설안전기술공단 등이 인증기관이다.

(2) 건물에너지효율등급 인증제도

(가) 도입 배경

부족 자원이 부족한 우리나라는 에너지 해외 의존도가 약 90%에 달하고 있다. 21세기 초에 "기후변화협약"이 발효될 경우 연간 GDP 3~4%의 감소가 불가피하기에 에너지 총 사용량을 규제할 "건축물 에너지효율 등급 인증제도"의 운용과 에너지절약형 건축물에 대한 정책적인 지원이 요구되었다.

건물에너지효율등급 인증제도는 효율등급제를 운영 중인 자동차나 에어콘 등의 전자제품처럼 건축물도 소비자가 에너지 절약 정도를 판단하여 선택할 수 있도록 1~3등급의 인증을 부여하는 제도로 2001년 8월말부터 시행 중에 있다.

건물에너지효율등급인증제도를 통하여 건물의 에너지 성능이나 주거환경의 질 등과 같은 객관적인 정보를 제공받고, 건물의 가치를 인정 받음으로써 건설사업주체, 소유주체, 관리 주체 및 건물 사용자 등 건물과 관련된 모두에게 이익이 돌아가기 위한 제도이다. 또한, 건물 부문에서의 합리적인 에너지 절약을 위한 건물에서 사용되는 에너지에 대한 정확한 정보를 제공하여 에너지 절약기술에 대한 투자를 유도하고 경제적 효과를 가시화하여 에너지절약 인식을 제고함과 동시에 편안하고 쾌적한 실내 환경을 제공하기 위한 목적으로 계획에 의거 에너지소비가 많은 공동주택에 대하여 이 제도를 도입하게 되었다.

이는 건축법에서 정하고 있는 기준 이상의 에너지효율을 가진 건축물에 대해서 에너지효율등급 인증 마크를 부여함과 동시에 제반 인센티브를 부여함으로써 건축물 에너지절약의 극대화를 도모할 수 있다. 이를 통해서 건축물의 에너지효율화를 위한 자발적 참여를 유도하며, 기후변화협약 등 향후 국제사회가 요구하는 환경부하 저감에 효과적으로 대처할 수 있다.

이에 대한 제도시행 관련 근거는 다음과 같다.

- 건물에너지효율등급 인증에 관한 규정(산업자원부 고시, 제2001-100호)
- 에너지이용 합리화를 위한 자금지원 지침(산업자원부 공고, 제2001-163호)
- 건물에너지 효율등급 인증제도 운영기준

(나) 인증대상 및 신청인

① 대상 건물 : 18세대 이상의 신축 공동주택

⇒ 공동주택 중 주거를 목적으로 하는 공간에 대하여 건축허가 단위로 대상 건축물을 인증한다.

② 신청인 : 건설사업주체

(다) 인증평가 방법의 특징

① 예비 인증등급 설정을 위한 평가방법

신청주택의 각 세대 및 단위 공동주택별 에너지소요량 및 표준주택에 대한 에너

지소요량을 산출하고 이에 대한 총 에너지절감율로써 평가한다.

② 에너지절감율 산출방법

에너지절감율의 산출방법은 아래 그림과 같으며, 각 용어에 대한 정의를 나타낸다.

□ 표준 주택

표준 주택(reference building)은 신청 주택의 에너지절감율을 평가하기 위해 기준이 되는 가상의 주택으로서, 현재 가장 많이 설계되고 있는 일반적인 건물 수준을 의미한다.

□ 신청주택 단위세대의 난방에너지 소요량

에너지성능 평가표(신청주택)에 의거하여 산출

□ 표준주택 단위세대의 난방에너지 소요량

표준주택의 설정기준에 따라 에너지성능 평가표에 의거하여 산출

□ 단위세대의 에너지절감율

신청주택의 단위세대 난방 에너지소요량에서 표준주택의 단위세대 난방에너지 소요량을 빼고, 이를 표준주택의 단위세대 난방에너지 소요량으로 나눈 백분율에 신청주택의 단위세대 가산 항목에 해당하는 절감율을 더하여 산출

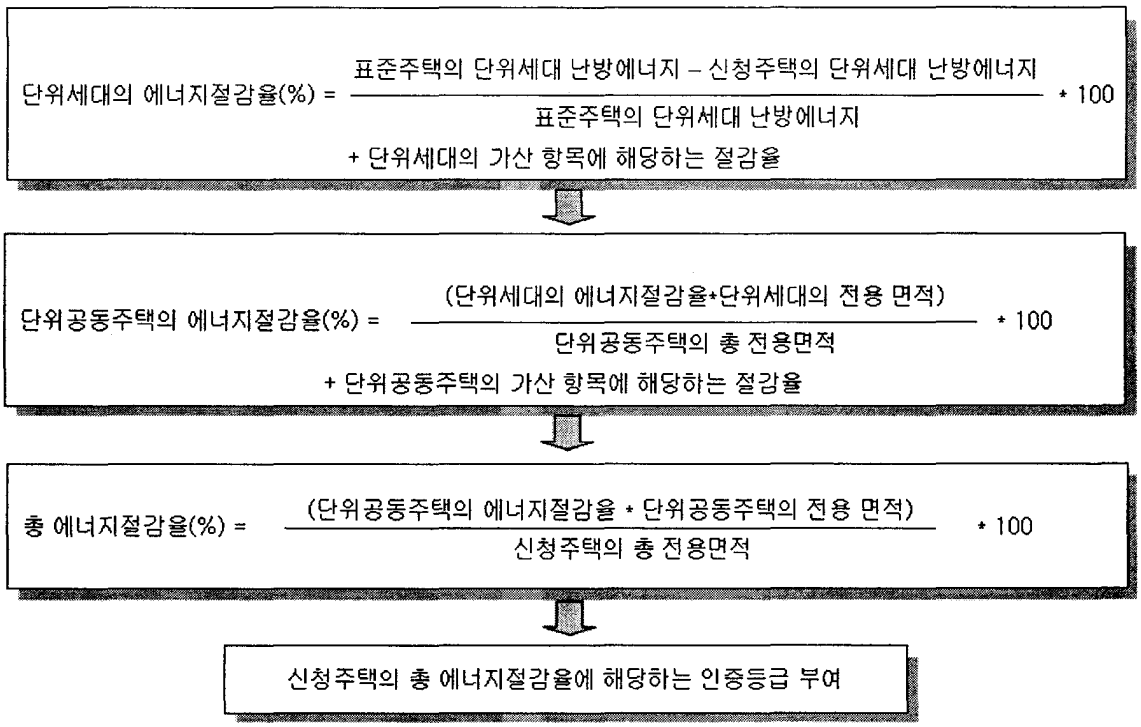


그림 2.5 에너지절감율 산출 방법

□ 단위공동주택의 에너지절감율

단위세대의 에너지절감율에 단위세대 전용면적을 곱한 합을 단위공동주택의 총전용면적으로 나눈 절감율에 신청주택 단위공동주택의 가산 항목에 해당하는 절감율을 더하여 산출

□ 신청주택의 총에너지절감율

단위공동주택의 에너지절감율에 단위공동주택의 총전용면적을 곱한 합을 신청주택의 총전용면적으로 나눈 절감율

□ 에너지절감율 평가 사례

신청 주택의 에너지절감율은 인터넷에 접속하여 ENER-SHEET 2.0 프로그램을 이용하여 산출할 수 있다.

(라) 인증 구분

건물에너지효율등급 인증제도는 예비인증과 본 인증으로 구분된다.

① 예비 인증

신청주택의 완공 전에 설계도면 등을 통하여 건물에너지효율등급 인증에 관한 규정(산업자원부 고시 제2001-100호), 건물에너지효율등급 인증제도 운영규정 및 건물에너지효율등급 인증에 관한 평가지침에 의해 평가된 결과를 토대로 등급을 인증하게 된다.

② 본 인증

신청주택의 완공 후에 건물에너지효율등급 인증에 관한 규정(산업자원부 고시 제2001-100호), 건물에너지효율등급 인증제도 운영규정 및 건물에너지효율등급 인증에 관한 평가지침에 의해 최종 설계도면 및 현장 실사를 거쳐 최종적으로 평가된 결과를 토대로 등급을 인증하게 된다. 사용검사가 완료된 이후 그리고 입주 전에 실사를 하게 된다.

(마) 인증 등급

인증은 예비인증과 본 인증으로 구분되며, 에너지 절감율이 표준 아파트에 비해 40% 이상이면 1등급, 30% 이상은 2등급, 20% 이상은 3등급을 각각 부여한다.

등 급	절 감 율
1 등급	40% 이상
2 등급	30% 이상 ~ 40% 미만
3 등급	20% 이상 ~ 30% 미만

(3) 초고속정보통신건물 인증제도

(가) 도입 배경

초고속정보통신건물 인증제도는 초고속 정보통신 서비스의 원활한 이용을 위해 정부가 일정 기준 이상의 구내 정보통신 설비 요건을 갖춘 건물을 심사하여 인증해 주는 제도이다.

인증을 받는다는 것은 해당 건물이 미래의 초고속 정보통신환경에 대비할 수 있는 충분한 수준의 구내 정보통신시설을 갖추고 있음을 정부로부터 공인받게 되는 것이다. 그러므로 인증을 받은 건물은 입주자들이 현재는 물론 미래에도 다양한 정보통신 서비스를 편리하게 이용할 수 있는 환경을 갖추게 됨으로써 건물의 가치가 높아지게 되는 이점이 있다.

(나) 인증대상 건물

건축법 시행령에 의한 건축물 중 50세대 이상의 공동주택이나 연면적 3,300 제곱미터 이상인 업무시설(오피스텔 포함)이다.

(다) 인증 업무처리

예비 인증(설계도서 서류심사)과 정식 인증(현장 실사)으로 이루어지며, 정식 인증 심사에서 합격한 경우에 인증필증과 인증 명판을 교부한다.

(라) 인증등급의 구분

인증등급은 특등급, 1등급, 2등급, 3등급으로 구분되며, 배선기자재의 성능(광케이블 또는 UTP케이블), 배선량(코아 또는 페어수, 인출구수), 통신실 면적(집중구내통신실 또는 층통신실 등), 구내선로의 성능과 같은 구내정보통신 기반의 수준에 따라 구분한 것이다.

공동주택과 오피스텔의 등급별 차이를 간단히 정리하면 다음과 같다.

- ㅇ 특등급은 현재의 모든 서비스 및 미래의 예측 가능한 서비스까지 수용할 수 있도록 각 세대까지 광케이블이 설치되어 있는 등급이다
- ㅇ 1등급은 현재의 제공 가능한 모든 서비스를 수용할 수 있도록 각 동까지 광케이블이 설치되어 있는 등급이다
- ㅇ 2등급은 현재 제공 가능한 대부분의 서비스를 수용할 수 있도록 각 동까지 광케이블이 설치되어 있으나 세대인입 회선수 및 인출구가 1등급보다 적은 등급이다

○ 3등급은 최소한의 초고속 정보통신 서비스를 수용할 수 있는 등급이다.

(4) 지능형건물 인증제도

(가) 도입 배경

지능형 건물이란 21세기 지식정보사회에 대응하기 위하여 건물의 규모, 용도와 기능에 적합한 각종 시스템을 도입하여 쾌적한 환경을 제공함으로써 새로운 공간 문화를 창출하고, 각 시스템의 안전성과 확장성으로 빠르고 안전한 정보서비스가 이루어지며, 에너지절감을 통해 건물의 경제적 관리가 가능하게 됨으로써 업무의 생산성을 극대화할 수 있는 건물이라 할 수 있다. 지능형 건물의 인증제도는 IBS KOREA가 주축으로 제정하여 운영하고 있다.

(나) 인증 대상

적용 대상은 건축물의 용도에 따라 크게 주거용 건물과 비주거용 건물로 나눌 수 있으며, 건축 시점에 따라 신축건물과 기존 건물로 나누어 고려해 볼 수 있다. 또한, 시행 주체에 따라 공공발주 건물과 민간 발주 건물로 나눌 수 있으며, 건물의 규모 및 집합 형태에 따라 적용 대상을 단일 건물, 복합 건물 등으로 구분할 수 있다.[8)]

(다) 인증 종류

① 예비 인증

예비 인증은 신청건물의 완공 전에 등급인증기관에 의해 설계도서 심사를 거쳐 평가된 결과를 토대로 등급을 인증하는 것을 말한다. 신청 시점은 평가를 위해 필요한 신청서류가 완비되면 언제라도 신청이 가능하며, 건축공사의 인허가 절차와 관계없이 별도로 진행될 수 있다.

② 본 인증

본 인증은 신청건물의 완공 후에 등급인증기관에 의해 설계도서 심사 및 현장 실사를 거쳐 최종적으로 평가된 결과를 토대로 등급을 인증하는 것을 말한다. 신청 시점은 사용 검사(가사용 승인 포함)가 완료된 이후에 심사가 가능하며, 건물의 입주 후 운용 단계에서도 인증 신청 및 평가가 가능하다.

(라) 인증 등급의 구분

8) IBS 건축물의 인증기준과 해설, 김양동, 2007년도 건축전기설비기술사 CPD교재

인증 제공방법은 크게 단일 인증마크를 부여하는 방법과 몇 개의 등급으로 구분하여 등급별로 인증하는 방법으로 나눌 수 있다. 지능형 건물의 등급은 다음과 같다.

등 급	1등급	2등급	3등급	비 고
기준 점수	90 %	80 %	70 %	등급별 차이 : 10 %
과락 점수	80 %	70 %	60 %	동일등급 차이 : 10 %

다음 그림은 등급 판정의 기준을 나타낸 것이다.

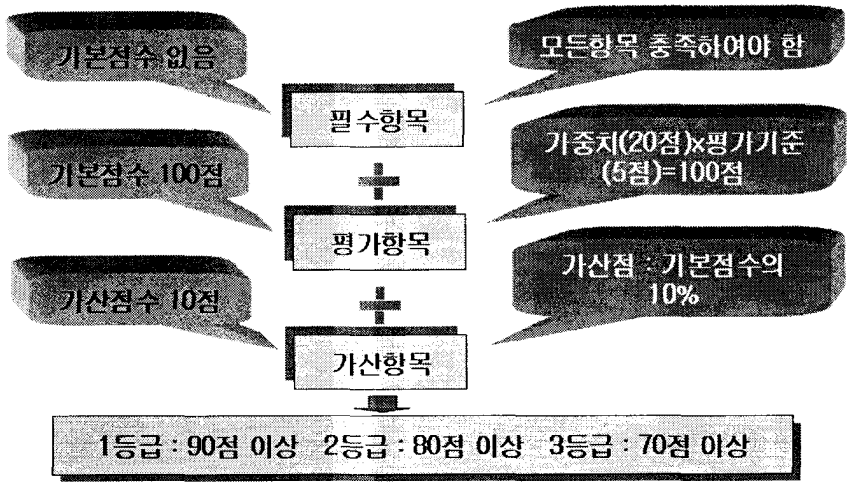


그림 2.6 등급 판정의 기준

(마) 전기분야 평가기준

과거에는 업무용 건축물에서 전기설비는 전원공급, 적당한 조도 유지 등 단순한 필요설비로 생각하여 전기설비에 대한 투자와 개선을 등한시하였으며, 건축환경에 미치는 영향의 중요성에 대한 인식도 부족하였다. 그러나 21세기 정보화 사회가 되면서 전기분야에도 환경 친화성, 안전성, 쾌적성, 편의성, 경제성이 요구되고 있으며, 특히 지능형건물의 필요성이 증가되면서 건축, 정보통신, 전자, 기계, 방재설비 등과 함께 통합 운용되는 환경이 조성되었다. 지능형건물은 그 용도, 규모, 특성과 관리운영 방식에 따라 여러 형태로 분류되고, 평가되어야 하나 시설의 정체성보다, 업무 환경에 자유롭게 대처할 수 있고 향후 사무자동화, IT, 산업발전에 따른 시설

확충에 능동적으로 대응할 수 있도록 목표를 정하여 계획하고 투자하는 것이 바람직하다.

따라서 전기분야 평가항목은 많은 시설 내용을 평가항목으로 채택할 수 있으나 건축의 규모, 용도와 자사, 임대, 분양 등 다양한 건축물을 대상으로 한 인증이므로 특화된 기술이나 용도에 따라 채택되는 독립적인 시스템은 배제하고 전기설비 인프라 구축에 비중을 두고 필수 항목 5개, 평가 항목 12개, 가산 항목 6개로 선정하였다.

① 필수 항목

전기분야 필수 항목은 안전성, 융통성, 편의성과 경제성을 고려하여 건축계획, 전력공급 및 부하설비 등 3가지로 분류하였으며, 평가항목으로는 전기실의 환경적 요소, 수변전설비, 비상전원설비, 간선설비와 조명설비 등 5개 항목을 선정하였다.

표 2.17 필수 항목의 평가기준

분 류	평가 항목	평가 기준	적용 범위
전기 관련 실 구성	전기 관련실	지하실의 경우 최하층 레벨 FL+900mm 이상의의 위치에 설치하여야 한다.	전기 관련실
전력공급설비	비상전원 확보	비상발전기의 비상전원을 확보하여야 한다. 공급용량은 수전용량의 20% 이상이어야 한다.	수변전설비
	배선공간 확보	적정한 크기의 EPS 실을 확보하여야 한다.	배선공간
부하 설비	쾌적한 조명환경 구축	사무실 조명은 균일조도이어야 하며, 휘도를 최소화하여야 한다.	업무 공간
감시제어설비	감시제어	전력설비와 조명설비는 감시제어가 가능하도록 하여야 한다.	전기설비
피뢰 및 접지설비	건물내 등전위 구성	민감한 장비의 안정적 운전환경을 확보하기 위하여 업무공간은 등전위로 하여야 한다.	업무공간

② 평가 항목

전력기기에 대한 전력공급의 안전성, 에너지 절약 등을 고려한 필수설비의 시설 여부와 전력공급에 관련된 인입 수전방식, 기기구성, 설비용량의 예비율, 예비전원의 확보, 무정전전원설비, 전력간선구성 및 부하설비, 방재설비 등의 시설 방안을 포함하여 12개 항목을 평가 항목으로 선정하였다. 다음 표는 평가 항목별로 평가기준을 나타낸 것이다.

표 2.18 평가 항목별 평가기준

분류	평가항목	가중치(a)	평가기준(b) 2점	3점	4점	5점	점수(a)×(b)	적용범위
전기 관련실	전기 관련실	2	-	최하층FL+900[mm] 이상, 방화구획	최하층이 아닌 지하층에 위치 바닥높이FL+300[mm] 이상, 방화구획	지상층에 위치 바닥높이FL+300[mm]이상, 방화구획		전기실
전력 공급 설비	UPS 시설의 공급능력	2	-	통신, 전산, 기타 필수 부하용 설비	통신, 전산, 기타 필수부하용 설비+기준층 업무공간 부하용량의10[%] 이상	통신, 전산, 기타 필수 부하용 설비+ 기준층 업무공간 부하용량의 15[%] 이상		UPS 전원 시스템
	변압기 구성	2	부하별 변압기 구분 여부	변압기 2차측 Tie 연결	예비 변압기를 확보하여 전력 계통과 연계 구성	예비 변압기를 군별로 확보하여 전력계통과 연계 구성		수변전 설비
	전력간선 설비	2	-	간선용량 예비율 10[%] 이상	간선용량 예비율 15[%] 이상	간선용량 예비율 20[%] 이상		건물 전체
	고조파 및 노이즈 저감설비	2	-	변전실에 뱅크별 프로텍터 설치 시	전산실, 통신장비실, 방재설비, 중앙감시실 분전반에 프로텍터 설치시	기준층 전원공급 판넬에 프로텍터 설치시		주요 전력 기기
	업무공간의 자유배선 공간(EPS)	2	-지상층 층별 3[㎡]의 자유배선공간 1개소이상, -방화구획구분	-기준층 6[㎡] 의 자유배선 공간 1개소 이상 -방화구획구분	-기준층 업무 공간 면적 600[㎡]당 6[㎡] 이상 -방화구획구분	-기준층 업무 공간 면적 600[㎡]당 8[㎡] 이상 -방화구획구분		EPS
소 계								

표 2.18의 계속

분류	평가항목	가중치(a)	평가기준(b) 2점	3점	4점	5점	점수(a)×(b)	적용범위
부하설비	업무공간 소전력 공급설비 (콘센트)	2	-	업무공간 10[㎡] 면적당 전열수구 1개 이상 설치	업무공간 8[㎡] 면적당 전열수구 1개 이상 설치	업무공간 6[㎡] 면적당 전열수구 1개 이상 설치		업무공간
	엘리베이터 설비	1	-평균대기시간 : 60초이하 -수송능력8[%] -그레픽감시반 -인터폰에 의한 비상통화	-평균대기시간 : 50초이하 -수송능력10[%] -그레픽감시반 -인터폰에 의한 비상통화	-평균대기시간 : 40초이하 -수송능력12[%] -화재관제운전 -컴퓨터감시반 -전화기에 의한 비상통화	-평균대기시간 : 30초이하 -수송능력14[%] -화재관제운전 -원격감시시스템 -전화기에 의한 비상통화		엘리베이터
감시제어설비	전력/조명/주차관제/엘리베이터	2	1개 시스템 개별 감시 또는 제어	전력감시+조명제어	전력감시+조명제어+엘리베이터 감시	전력감시+조명제어+엘리베이터 감시+주차관제		전력설비
방재설비	피뢰 및 접지시스템	2	-회전구체법 4등급 보호 -공통접지 10[Ω]이하	-회전구체법 3등급 보호 -공통접지 5[Ω]이하	-회전구체법 2등급 보호 -공통접지 2[Ω]이하	-회전구체법 1등급 보호 -공통접지 1[Ω] 이하		건물전체
	소방설비	1	-	소방설비 법규외 자진설비구축	소방설비 법규외 자진설비 구축 -중요부분 아날로그 감지기 시설	소방설비 법규외 자진설비 구축 -전관 아날로그 감지기 시설		건물전체
소 계								

③ 가산 항목

지능형건물에서 전력공급의 신뢰성 및 무정전화에 대한 대책과 정보통신기기와 전산장비 보호를 고려한 전자파 대책, 노이즈 대책에 대한 시설을 하여 전기설비 환경이 향상된 경우 가산점수를 부여하도록 6개의 평가항목을 선정하였다. 아래 표는 가산 항목의 평가기준을 나타낸 것이다.

(바) 정보통신분야 평가기준

정보통신분야는 본 지능형건물 등급인증 평가를 위한 6개 분야 중 기술변화가 가장 빠르며, 이러한 이유로 기술수준의 변화에 따른 인증 기준의 지속성 여부가 문제시될 수 있다. 따라서, 인증기준의 지속성에 초점을 맞출 경우 정보통신시스템의 중요한 항목들을 다루지 못하여 비현실적인 평가기준이 될 수도 있다. 또한, 현재의 인증기준이 완벽한 평가기준이 될 수는 없으나 앞으로 지속적인 보완을 통해

업그레이드가 된다면 훌륭한 평가 도구가 될 수 있을 것으로 판단된다.

본 인증기준에서는 기술수준 변화와 인증기준의 지속성을 모두 고려하여 지능형 건물에서 정보통신의 근간이 되는 시스템들을 다루었다. 정보통신분야는 필수항목 4개, 평가항목 13개, 가산항목 5개로 구성하였다.

표 2.19 가산 항목별 평가기준

분류	평가항목	가산점	평 가 기 준	점수	적용범위
전력 공급 설비	수전설비	2	다중회선 수전(2회선, Loop수전, Spot Network 등.) 또는 전력 계통을 이중모선으로 구성 시		수변전 설비
	침수대책	1	침수대비 배수펌프용량 이상의 전용발전기 지상설치 시		전기실
	에너지이용의 합리화	2	열병합 발전설비 시설 또는 발전기 상용운전 Peak-Cut System 채택		열병합발전설비 발전기
	대체 에너지	2	태양광 발전설비, 풍력발전설비 등(수전용량의 1[%] 이상)		대체 에너지설비
	전자차폐시설	2	전산실, 교환기계실, 중앙감시실 등에 전자차폐시설 설치 시		주요실
전기설비 일반, 기타	누수감지 설비	1	전산실, 교환기계실, 중앙감시실 등에 누수감지설비 설치 시		주요실
소 계					
총 계 [평가항목 + 가산항목]					

① 필수 항목

필수 항목은 지능형 건물에서 정보통신시스템으로써 보편적으로 갖추어야 할 통합배선시스템, 인터넷 환경구축을 위한 외부망과의 연결 여부, 공영 및 위성방송 수신을 위한 CATV 시스템과 전관방송의 도입여부를 확인하고자 하였다.

② 평가 항목

평가 항목은 교환설비, 통합배선, LAN 시스템을 통해 통신시설의 형태와 도입수준을 평가하도록 계획하였다. 또한, 지능형 건물 거주자의 생산성과 편이성을 높일 수 있는 회의지원설비, CATV, 종합안내시스템을 평가하도록 하였다. 지능형 건물의 방범설비는 출입통제와 CCTV 설비가 대표적인 시스템으로 건물의 안전성을 위한 도입수준을 평가하도록 구성하였다.

③ 가산 항목

가산 항목에서는 일반적으로는 도입되지 않으나 건물의 기능을 극대화하기 위해 도입되는 항목으로 교환설비에서는 무선기능을, LAN에서는 무선 LAN과 워크그룹 스위치를 평가항목으로 선정하였으며, CATV와 회의지원에 대한 평가항목은 각각 스튜디오설치와 영상회의 시스템을 평가기준으로 정리하였다.

제 2 절 국외 기술개발 현황

1. 도로포장분야 국외 기술개발 현황

가. 미국의 성능기준 현황

미국의 성능보증계약방식은 FHWA(Federal Highway Administration)에서 1987년부터 실시한 SEP-14에 의해 그 적용가능성이 검토되었다(Bayraktar, 2004). 도로공사의 성능계약방식은 80년대 후반부터 적용되기 시작하였으며, 90년대 후반부터 본격적으로 확대되었다. 일반적으로 보증기간은 2~5년이며, 이 기간 동안의 성능결함에 대해서는 전적으로 시공자가 그 책임을 부담한다.

공종별로 구분하면 교량 도장공사(52%), 차선 도색공사(20%), 아스팔트 포장공사(14%)에 주로 사용되었으며, 이와 관련하여 유타 주에서는 시공자에게 최적의 설계를 선택할 수 있는 권한이 있는 공사, 성능의 계량화가 가능한 공사, 성능의 속성과 공사실패의 판단기준을 규정할 수 있는 공사, 혁신적인 기술개발, 발전의 가능성이 있는 공사에 적용할 것을 권고하고 있다(Utah T2 Center).

표 2.20 미국의 주별 품질보증계약현황(ODOT, 1999)

	주	품질보증계약 현황
1	애리조나	공장설립
2	콜로라도	2건의 포장공사
3	코네티컷	페인트
4	일리노이	시범 프로그램을 위한 법률 제정
5	인디아나	5건의 포장공사
6	메인	2건의 포장공사
7	메릴랜드	교량 페인트
8	미시간	12건의 warranty 공사
9	미주리	3건의 아스팔트 고리 공사
10	몬태나	Paint striping
11	네바다	1건의 crumb 고리 공사
12	뉴멕시코	1건의 공사 발주 예정
13	오하이오	공사 발주 예정

14	서부 버지니아	Plastic Pavement Markers
15	위스콘신	10건의 아스팔트 공사

FHWA는 품질보증계약을 미국내 사회간접시설물 및 고속도로 공사에 적용할 수 있는 혁신적 계약제도이며, 고속도로 및 일반도로 공사에서 발주자의 투자에 대한 리스크 감소 효과가 있는 것으로 보고 있다.

품질보증계약은 다양한 방식으로 적용될 수 있으며 특히 보증기간은 신중히 고려되어야 하는데 아스팔트 포장공사에 대하여 2년간의 품질보증기한을 두는 것은 아스팔트의 특성상 공용 초기에는 문제점이 잘 나타나지 않는 점을 고려하지 못한 것임을 지적하였다.

또한 FHWA를 비롯한 각 주 교통국에서 자체적인 규정과 시행지침을 마련하여, 성능보증계약을 적용하고 있으며, 30개 이상의 주에서 적용하고 있다.

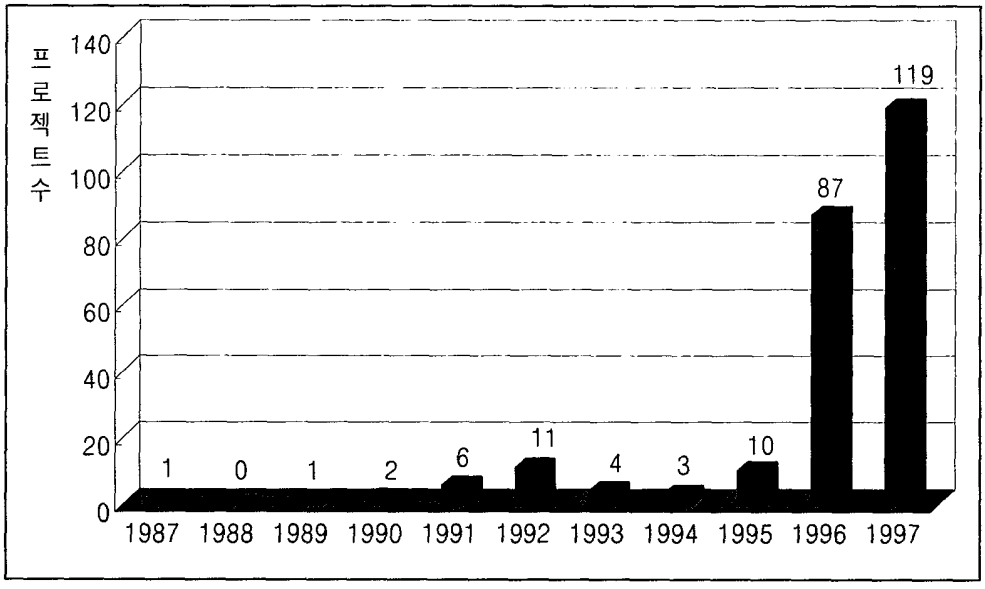


그림 2.7 미국 도로공사 성능보증계약방식 적용 현황(Russell)

표 2.21 미국 각 주별 지불규정 사용현황

주	밀도	공극률	아스팔트 함량	입도	두께	평탄성	기타
알라바마	○	○	○			○	
알라스카	○		○	○			
알칸사스	○	○	○			○	○
아리조나						○	

커네티컷	○			○			
캘리포니아	○	○	○	○			
일리노이					○	○	
아이오와						○	
메인	○		○	○			
메릴랜드	○		○	○		○	
미시건	○		○	○		○	○
미네소타	○	○	○	○		○	○
미주리						○	
네브라스카						○	
뉴햄프셔		○					
뉴저지		○				○	
뉴멕시코	○	○	○	○			
네바다		○	○	○		○	○
노스캐롤라이나	○	○	○	○		○	○
노스다코타						○	
오하이오	○		○	○		○	
오클라호마	○		○	○		○	
펜실베니아	○		○	○	○	○	
사우스캐롤라이나	○	○	○			○	
테네시			○	○		○	
텍사스	○	○			○	○	○
유타	○		○	○			
버몬트		○					
워싱턴	○		○	○			
위스콘신		○	○	○		○	○
와오밍	○			○		○	
플로리다	○	○	○				
버지니아			○	○			
인디아나	○	○	○				○
아이다호	○		○	○			
온타리오	○	○	○	○			
콜로라도	○		○	○			
오레곤	○		○	○			○
칸사스	○	○				○	
몬타나	○		○	○			
합계(총 40개주)	27	17	27	24	3	23	9

나. 일본의 성능규정화 추진

(1) 정부방침으로 성능규정화 추진

- 관련 법규 제·개정 등 제도 마련 후 기준 제·개정 및 실시
- 국토교통성 내 위원회 설치 운영

· 국토교통성 도로국 등 관련 정부기관

· 성능규정화에 대응 가능한 민간 기업체

· 토목연구소, 국토기술정책종합연구소, 도로보전기술센터 등 관련연구소

· 일본도로협회 등 관련 학·협회 및 대학 등 참여

■ 관련법규 및 제도 개정 등을 위한 총괄 위원회

■ 포장의 성능규정·종합평가방식검토 위원회

■ 공공공사에서의 종합평가방식 검토 위원회 등

(2) 성능규정 실시 후 계속적인 조사, 개선연구 실시

- 위원회의 계속적인 운영 : 효과분석, 제도개선, 홍보 및 실용화 추진
- 포장성능평가법, 포장표준시방서, 관련 설계기준의 추가 개정
  · 2008년 3월 포장성능평가법 Vol. 2(가칭), (사)일본도로협회 발간 예정

(3) 도로포장분야 성능규정화 추진 개요

- 2001. 3. 30 「규제완화추진 3개년계획」
  · "기준 내용이 기술혁신에 유연하게 대응할 수 있도록 시방기준으로 되어 있는 기준에 대해서는 원칙적으로 전부 성능규정화 하도록 검토한다."
- 2001년 성능규정 도입을 위한 법 규정 개정
  · 도로구조령(1970년 정령 제320호)
  · 도로법 시행령(1952년 정령 제479호)
  · 도로정비긴급조치법 시행령(1959년 정령 제17호)
  · 차량제한령(1961년 정령 제265호)
  · 산지 등 산업개발도로정비임시조치법 시행령(1965년 정령 제12호)
  · 신도쿄국제공항 주변 정비를 위한 국가 재정상 특별조치에 관한 법률 시행령(1970년 정령 제28호)
  · 포장구조에 관한 기술기준 개정
- 2006년 성능규정 적용을 위한 설계기준 개정
  · 포장 설계·시공 관련 각종 편람, 지침 개정(성능조항 추가)
  · 포장성능평가법(일본도로협회, '06. 1) 등 지침서 발간

- 1994년 "공공공사 입찰계약수속의 개선에 관한 행동계획" 수립

  · 민간의 기술력을 활용하기 위해 VE방식, 설계시공일괄방식, 성능규정발주방식, 종합평가낙찰방식 등 새로운 입·낙찰 및 계약방식을 도입

(4) 일본 성능평가법 개요

표 2.22 평가방법의 구분 - 평가대상

	직접계측	간접계측
포장 (현장)	현장에서 해당 포장 성능지표 값을 측정하여 평가 ①평탄성을 구하기 위한 3미터 프로파일미터에 의한 측정방법, 평탄성을 구하기 위한 노면성상측정차에 의한 측정방법 ②침투수량을 구하기 위한 현장투수량시험기에 의한 투수량측정방법 ③소음치를 구하기 위한 포장노면소음측정차에 의한 타이어/노면소음측정방법 ④미끄럼저항치를 구하기 위해 저항측정차에 의한 미끄럼마찰계수측정방법, 미끄럼저항을 구하기 위한 DF테스터에 의한 동적마찰계수측정방법	현장에서 해당 포장의 성능지표와 관련지을 수 있는 지표값을 측정하고, 그 결과에 기초하여 해당 포장의 성능지표 값을 산출하여 평가 ①피로파괴륜수를 구하기 위한 FWD에 의한 휨 측정방법
공시체	해당포장을 대체가능한 공시체에서 해당 포장의 성능지표 값을 측정하여 평가	해당 포장을 대체가능한 공시체에서 해당 포장의 성능지표와 연관지을 수 있는 지표 값을 측정하고, 그 결과에 기초하여 해당 포장의 성능지표 값을 수치화하여 평가 ②소성변형륜수를 구하기 위한 휠 트래킹시험(Wheel Tracking Test)에 의한 동적안정도측정방법

표 2.23 평가방법의 구분 - 성능지표

성능지표	측정방법	적 요	기술기준 관련성
피로파괴륜수	· 피로파괴륜수를 구하기 위한 FWD에 의한 처짐량 측정방법(아스팔트)	· 아스팔트포장을 현장에서 평가하는 방법만을 제시 · TA법 이외의 방법으로 설계하고 과거실적으로 확인할 수 없는 경우 등의 평가에 활용 · 향후 측정데이터 측정에 의해, 피로파괴률수를 산출할 수 있는 적용범위의 확대를 목표로 함	· 「과거의 실적을 TA법으로 확인하는」 것이 불가능한 경우에 대해 나타냄
소성변형륜수	· 소성변형륜수를 구하기 위한 휠트래킹시험에 의한 동적안정도측정법	· 사용혼합물의 휠트래킹시험결과를 토대로 현장 다짐정도에 비추어 평가하는 방법 · 휠트래킹시험의 하중조건은 49kN상당으로 수정	· 현장 성능을 실내시험으로 평가하는 방법
평탄성	· 평탄성을 구하기 위한 3미터 프로파일미터에 의한 측정방법 · 평탄성을 구하기 위한 노면성상측정차에 의한 측정방법	· 포장시험법편람의 방법에 준거 · IRI(국제roughness지수)를 참조로 소개	· 「기술기준」에 나타낸 방법 · 국제표준화 동향도 고려
침투수량	· 침투수량을 구하기 위하기 위한 현장투수량시험기에 의한 투수량 측정방법	· 포장시험법편람의 방법에 준거 · 측정기기의 사용방법 등, 세부의 검토	· 「기술기준」에 나타낸 방법
소음치	· 소음치를 구하기 위한 포장노면소음측정차에 의한 타이어/노면소음 측정방법	· 국도국방제93호 도로보전기획관통달(2004년6월30일)의 측정방법에 준거	· 「기술기준」에 나타나 있지 않기 때문에 새로 기재
미끄럼저항치	· 미끄럼저항치를 구하기 위한 미끄럼마찰계수측정방법 · 미끄럼저항치를 구하기 위한 DF테스터에 의한 동적마찰계수측정방법	· 포장시험법편람·별책의 방법에 준거하여, 국토기술정책종합연구소가 수행한 노면미끄럼측정차합동비교시험의 성과를 참고로 수정 · 범용화하고 있는 회전식미끄럼저항측정기(DF테스터)에 의한 동적마찰계수의 측정방법도 평가법으로 채용 · IFI(국제마찰지수)를 참고로 하여 소개	· 「기술기준」에 나타나 있지 않기 때문에 새로 기재 · 국제표준화 동향도 고려

(5) 일본 도로포장 성능 평가방법 선정 논리

(가) 피로파괴륜수

- 포장은 교통하중이 반복재하되는 것에 따라 피로에 의한 균열이 발생함.
- 피로파괴륜수에 상정하고 있는 포장의 균열은 피로파괴에 의한 것만을 가리킨다. 하향 교통하중이 노면에 작용하는 것으로 포장의 피로파괴에 의한 균열은 포장의 하면에서 위쪽으로 발달하고 표층재료의 열화(劣化) 등에 의해 노면부터 발생하는 균열과는 구별 됨.
- 「기술기준」에는 피로파괴륜수를 「포장에 균열이 생기기까지 필요로 하는 횟수」라 정의되어 있음. 피로파괴를 초래했다고 간주되는 노면 상태를, 대상구간의 포장이 균질하다고 전제하고 그림에 나타내는 것과 같이 양측의 바퀴자국부분의 전 구간길이에 걸쳐 연속하여 각각 한 줄의 균열 발생으로 함. 이 상태에서의 균열률을 산출하면 약 20%가 되므로 피로파괴를 균열률 20%로 정의함.

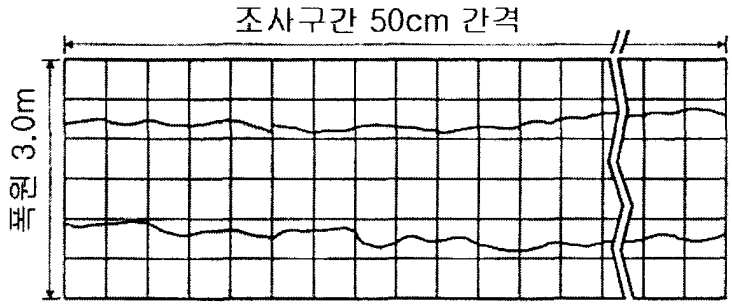


그림 2.8 균열율 20%의 예

(나) 소성변형륜수

- 현지에서의 측정과 휠트래킹시험과의 정합성
- 휠트래킹시험은 도로의 교통조건이 고온 시의 포장에 미치는 영향을 실내시험에 의해 시뮬레이션 하는 것으로 일정 시험조건(바퀴하중, 온도, 속도)에서의 반복재하시험임.
- 이러한 의미에서 시험장치의 스케일 등의 차이는 있으나 현지에서의 측정과 기본적으로는 같은 사고방식에 근거한 평가방법임.
- 따라서 휠트래킹시험과 현지에서의 측정에는 상관성이 있음.

- 또한 휠트래킹시험에 제공하는 시료의 두께는 ①표층의 두께가 달라도 아스팔트혼합물층(표·기층) 전체로 보면 소성변형이 생기는 깊이(온도의 영향범위)로의 영향이 적다고 생각할 수 있는 점이나 ②「기술기준」의 소성변형륜수의 기준치는 두께 5㎝의 공시체에서 실시한 휠트래킹시험 결과에 근거하여 정해지고 있는 점에서 현지에서의 표층 두께(설계두께)에 관계없이 5㎝로 함.
- 그러나 입자가 큰 혼합물 등, 5㎝의 공시체를 사용한 평가로는 부적합이 생긴다고 생각되는 경우는 협의한 후에 필요에 맞게 두께를 변형할 수 있는 것으로 함.

(다) 평탄성

- 평탄성은 승차감에 관계하는 것으로 아스팔트·콘크리트포장 및 시멘트·콘크리트포장의 현재수준에서 특히 문제는 없음.
- 아스팔트·콘크리트포장, 시멘트·콘크리트포장, 인터록킹블록포장 공사의 검사기준으로 전국 도로관리자가 채용하고 있는 값을 참고로 2.4밀리미터로 했다. 또한 시멘트·콘크리트포장에 대해서는 시멘트콘크리트포장요령에 기계설비인 경우에 2.0밀리미터 이하, 인력포설인 경우에 3.0밀리미터 이하로 되어 있지만 본 기준의 적용범위가 도로의 신설, 개축 및 대규모 수선이라는 점에서 인력시공 값은 고려하지 않음.

(라) 투수성

- 차도 및 측대의 포장은 자동차의 안전 및 원활한 교통을 확보하기 위해 도로가 있는 지역의 상황, 자동차 교통 상황을 감안하여 필요가 있는 경우에 대해서는 우수를 도로의 노면 아래로 원활히 침투시킬 수 있는 구조로 하는 것으로 함.
- 침투수량은 모든 포장에 대해 필요로 하는 것은 아니고 그 기준치는 도로의 구분에 맞게 1,000㎖/15초와 300㎖/15초로 하고 있음.
- 우수를 도로의 노면 아래로 원활히 침투시키는 구조의 포장으로는 투수성(porous)아스팔트 포장이 일반적
- 스트레이트아스팔트를 사용한 것을 상정할 경우 기대할 수 있는 접착력과 그 지속성에서 공극률 15%가 한계이고 이 경우 침투수량이 300~400㎖/15초 정도가 되기 때문에 300㎖/15초가 침투수량의 기준이 됨.
- 그밖에 설계속도가 큰 도로 등 안전한 교통을 확보하기 위해 특히 침투수량을

고려해야하는 도로에 대해서는 내구성, 접착력이 뛰어난 개질아스팔트를 사용한 투수성아스팔트포장이 상정됨.

- 이 경우 내구성 등을 고려하면 공극률을 20% 정도까지 늘릴 수 있고 공극률 20% 정도인 경우의 침투수량이 1,000~1,500㎖/15초이기 때문에 1,000㎖/15초가 설정됨.
- 예를 들어 적설한랭지역 등에서 체인주행에 의한 파괴대책으로 공극률을 17%까지밖에 취할 수 없는 경우가 있음. 공극률 17% 정도의 투수수량은 800㎖/15초 정도가 됨.
- 기술기준에서는 이와 같은 경우를 상정하여 「특별한 이유에 의해 어쩔 수 없는 경우에 있어서는, 기준을 그대로 적용하는 것이 적당하지 않다고 인정되는 경우는 해당 기준에 의하지 않을 수 있다」고 규정하고 있음.

다. 일본 종합평가방식 개요

(1) 나눗셈 방식과 덧셈방식의 비교

(가) 평가치의 비교

- 나눗셈방식과 가산방식의 평가치를 도식화하면 아래와 같으며, 나눗셈방식과 가산방식에 의해 낙찰자가 다른 경우가 있음. 따라서 예를 들면, 저가격 입찰의 염려가 있는 경우에 대해서는 가산방식을 채용함으로써 저가격 입찰에 의한 낙찰을 회피할 수 있는 가능성이 높아짐.

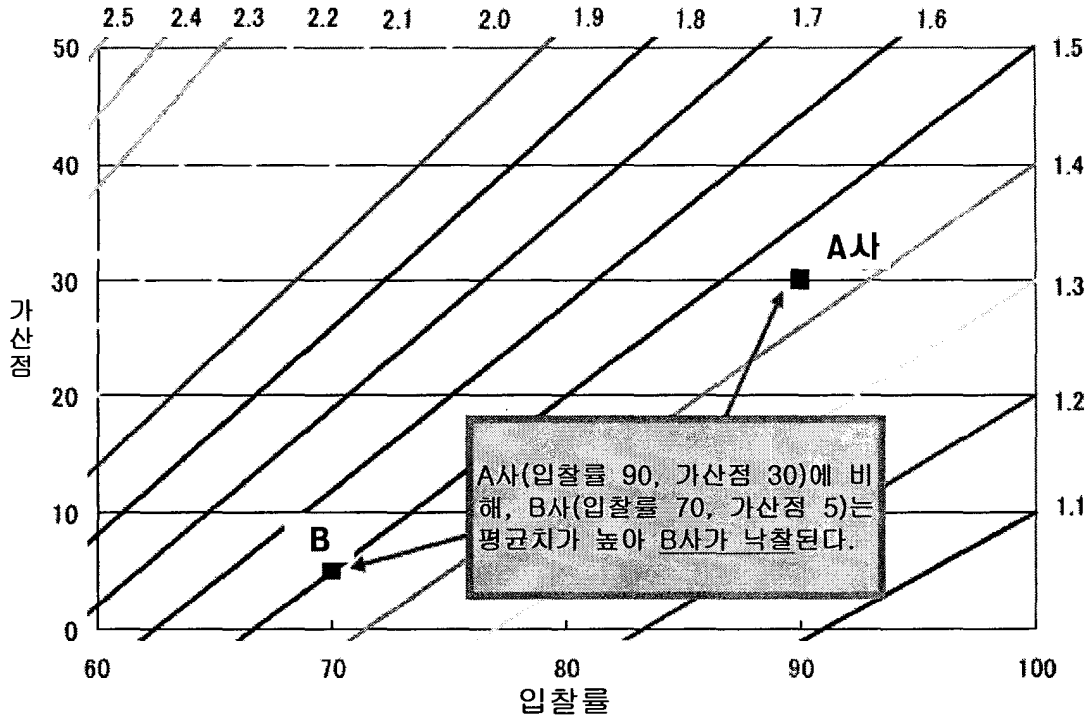


그림 2.9 나눗셈방식에 의한 평가치의 등고선

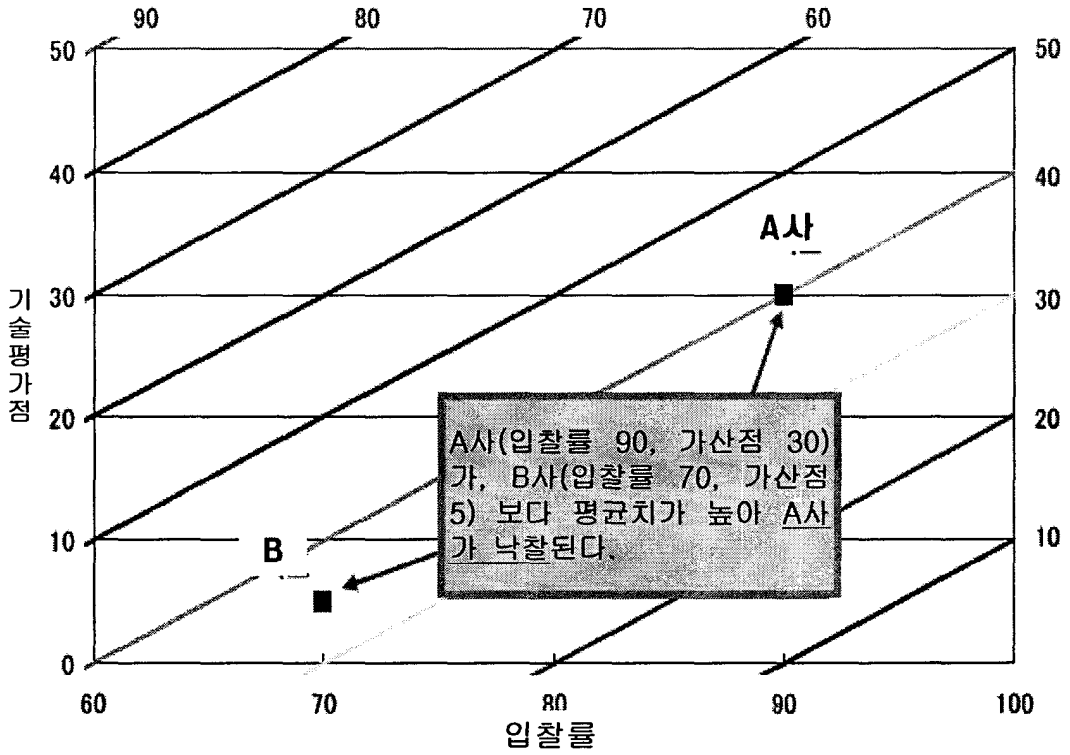


그림 2.10 덧셈방식에 의한 평가치의 등고선

(나) 입찰률과 평가치의 시뮬레이션 관계

- 불량업자에 의한 저입찰가격조사제도의 조사기준가격(회계법 제85조)에 상당하는 입찰가격(공사의 경우는, 예정가격의 2/3에서 8.5/10을 벗어난 가격)이 있는 경우에 있어서도, 평균낙찰률에 최저가격입찰자를 상회하는 평가치를 얻기 위해 필요한 기술평가점을 시뮬레이션에 의해 구한 결과를 아래에 나타냄.

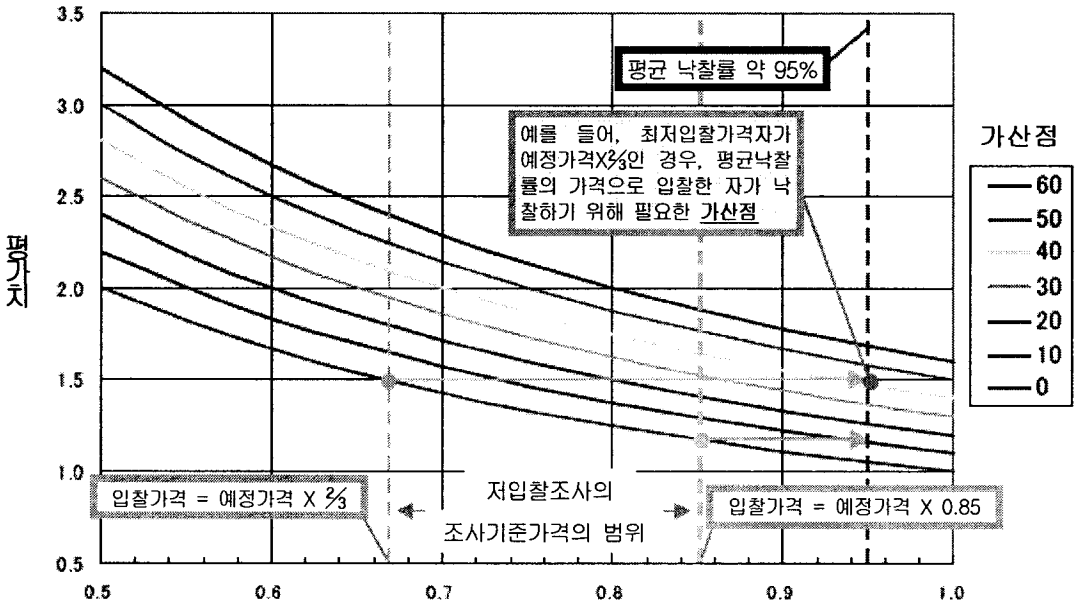


그림 2.11 나눗셈방식에 의한 입찰률과 평가치의 관계

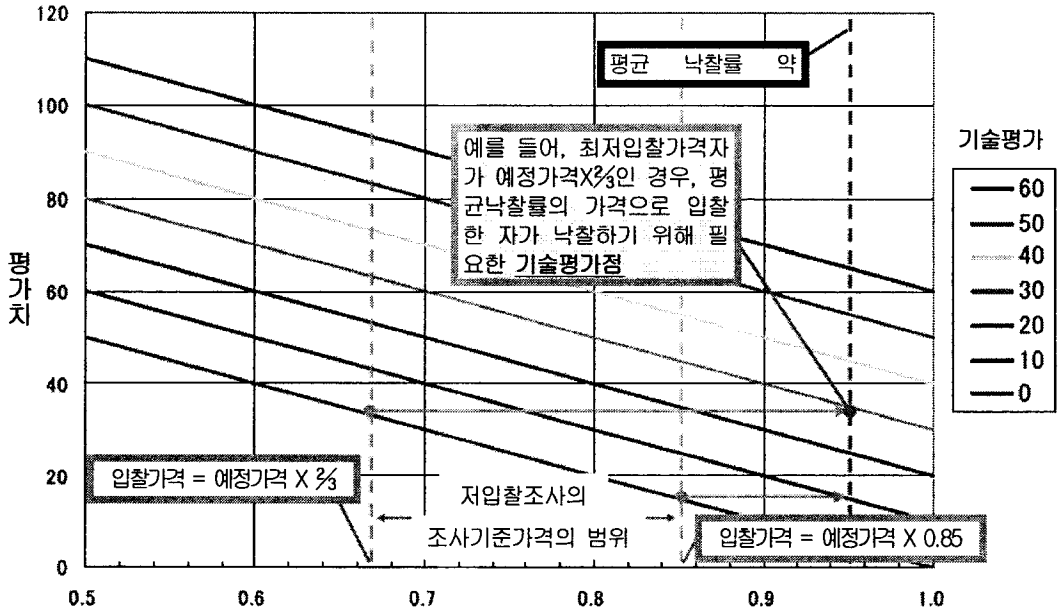


그림 2.12 덧셈방식에 의한 입찰률과 평가치의 관계

(다) 2004년통달 방식 적용 공사에서 설정가산점의 시뮬레이션 결과

- 2004년도에 직할공사에서의 종합평가방식을 적용한 공사 중에서, 신통달방식에 가산점의 만점(설정가산점)을 10점으로 한 공사 384건을 대상으로, 설정가산점을 재검토한 경우의 낙찰현황을 아래에 나타냄.

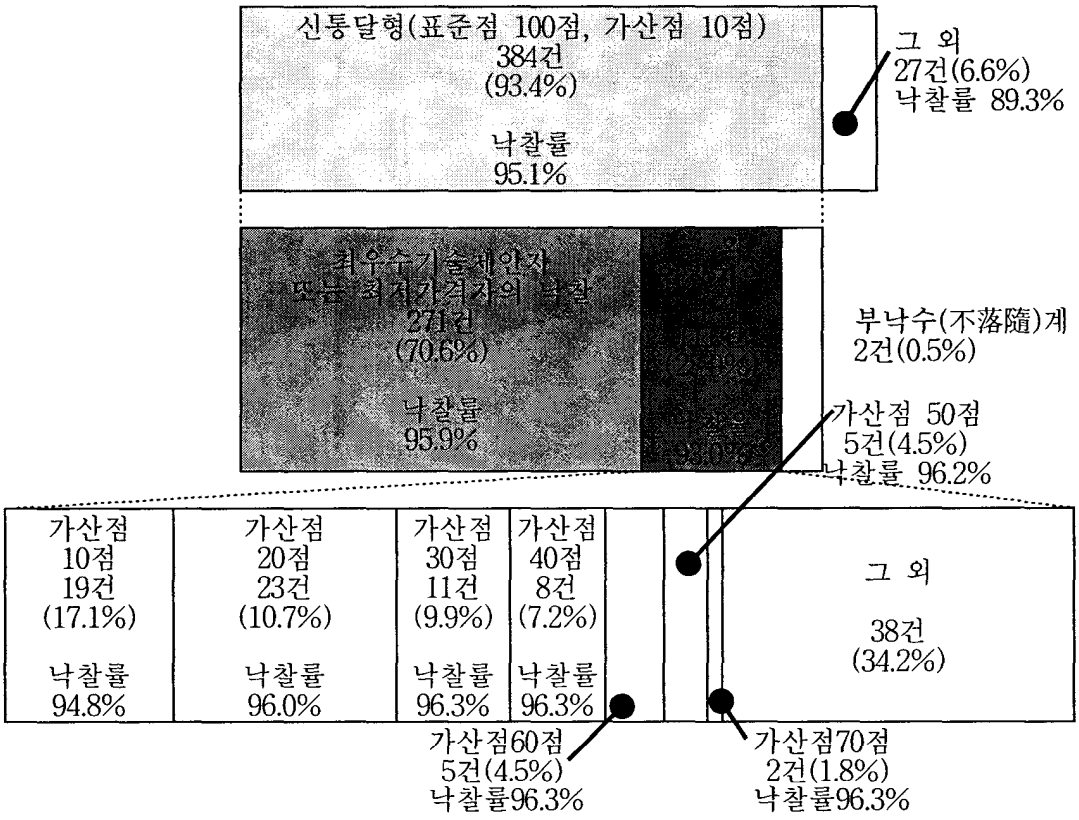
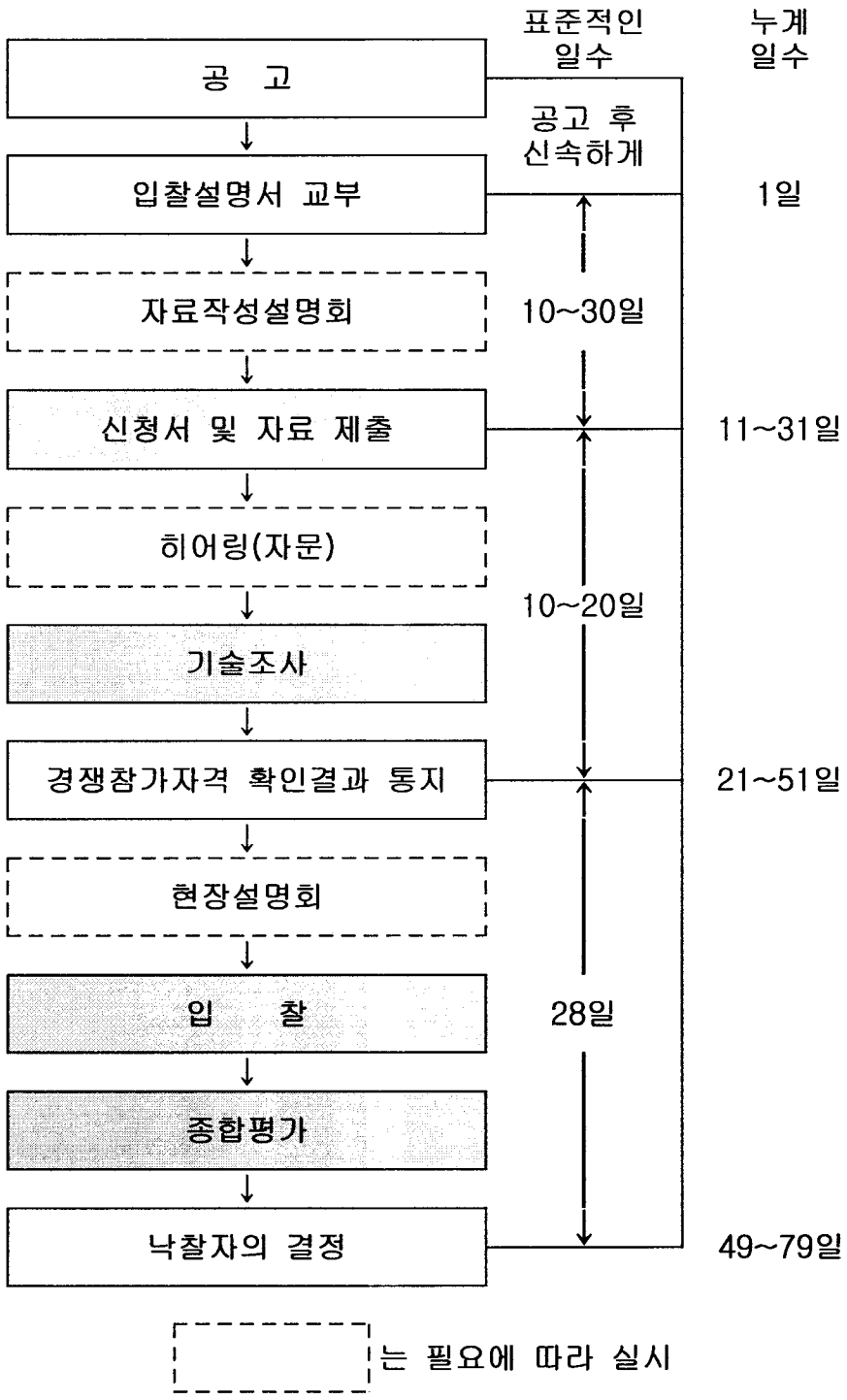


그림 2.13 가산점을 크게해서 최우수기술제안자가 낙찰자가 되는 비율

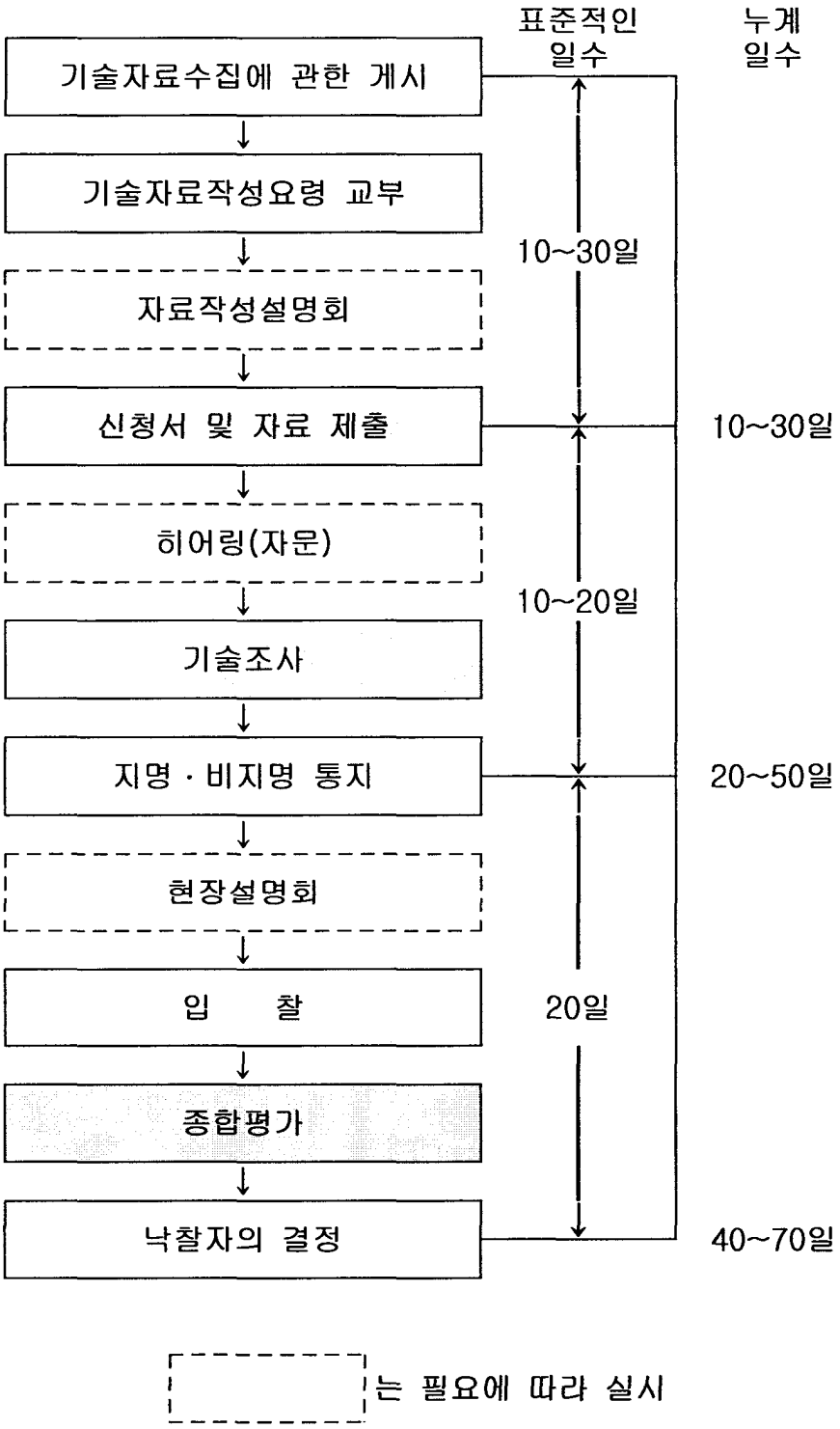
(2) 입찰·계약 수속의 흐름

(가) 종합평가방식

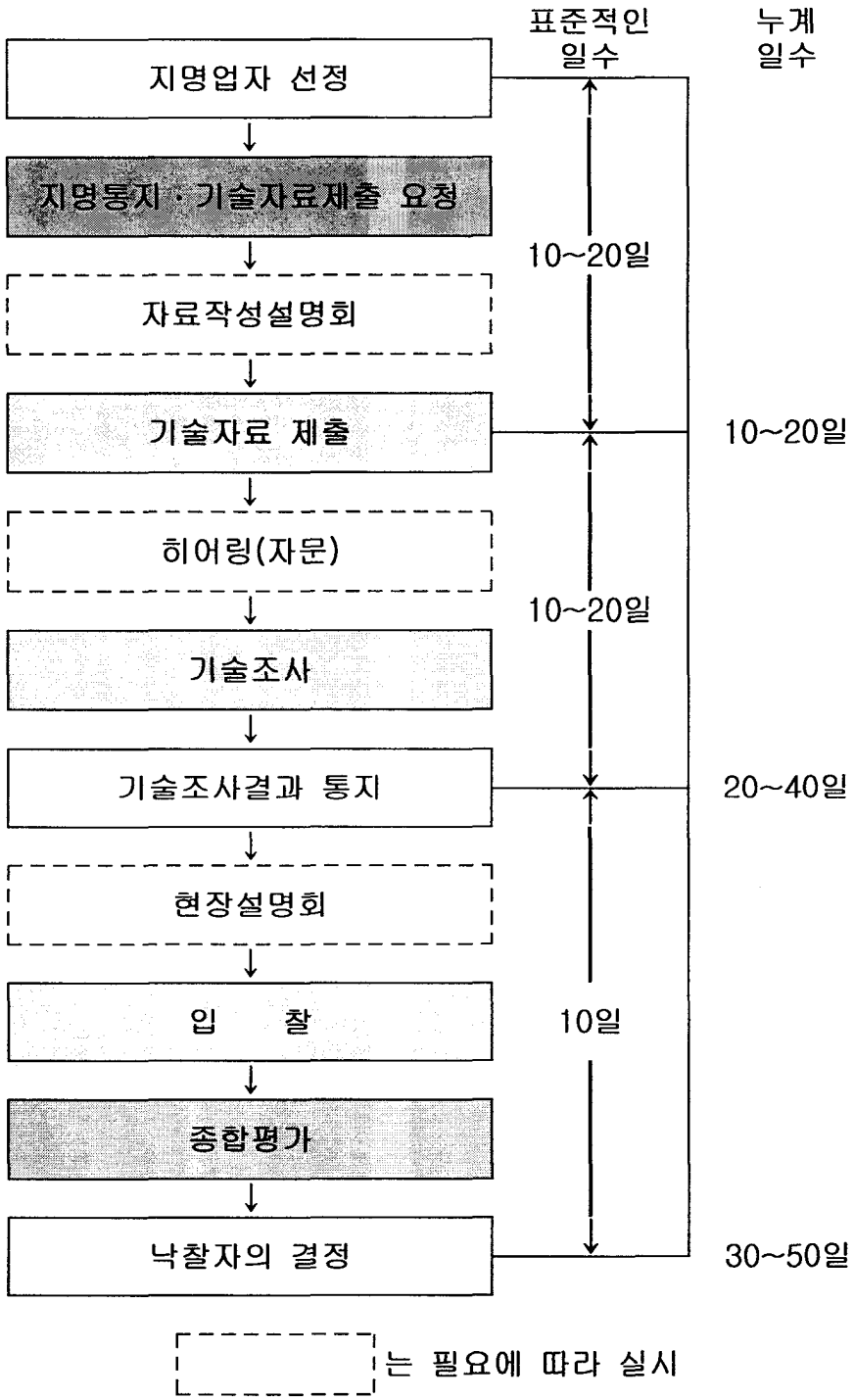
일반경쟁 입찰(종합평가방식)의 흐름



공모형 지명경쟁 입찰(종합평가방식)의 흐름



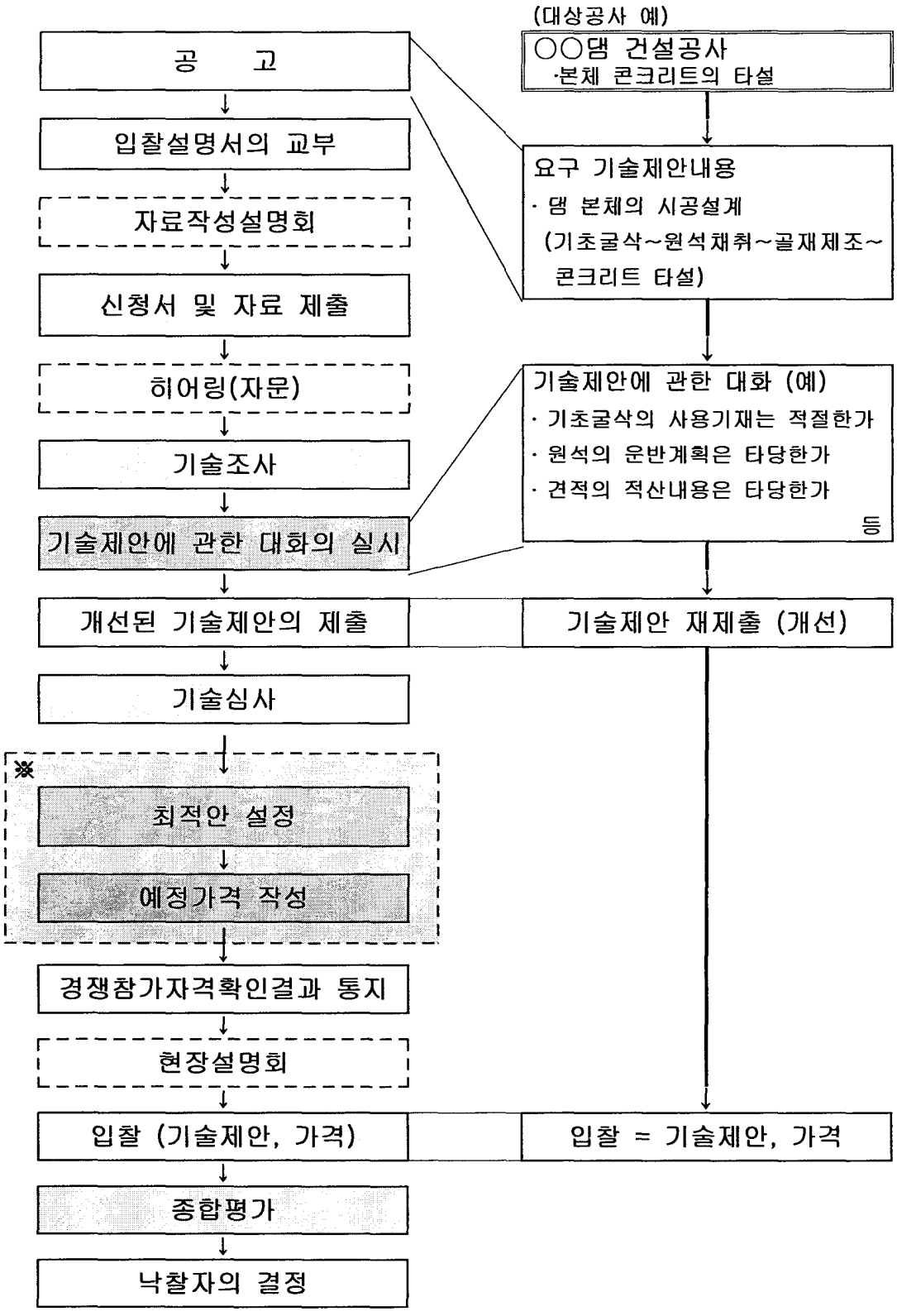
통상 지명경쟁 입찰(종합평가방식)의 흐름



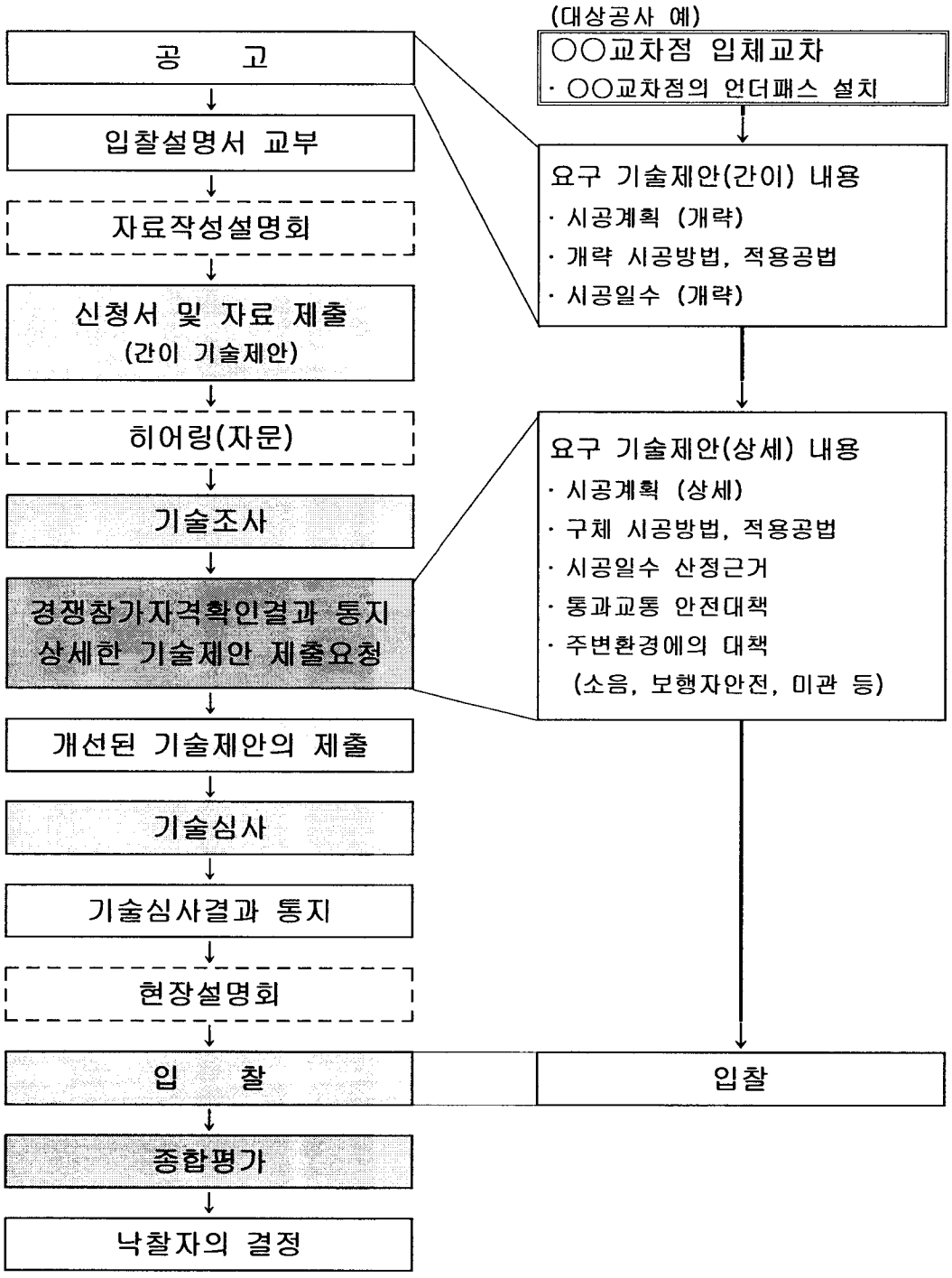
※ 현재 직할공사에서의 통상 지명 방식에는 입찰·계약 프로세스 중에 기업으로부터 기술자료 등을 요구하는 프로세스는 없지만, 본 제안에 의한 평가 항목에 의해 종합평가방식을 적용하는 경우에는, 새롭게 기업으로부터 기술 자료 등을 요구하는 프로세스가 추가된다.

(나) 특히 기술적 난이도가 높은 공사에 적용하는 방식

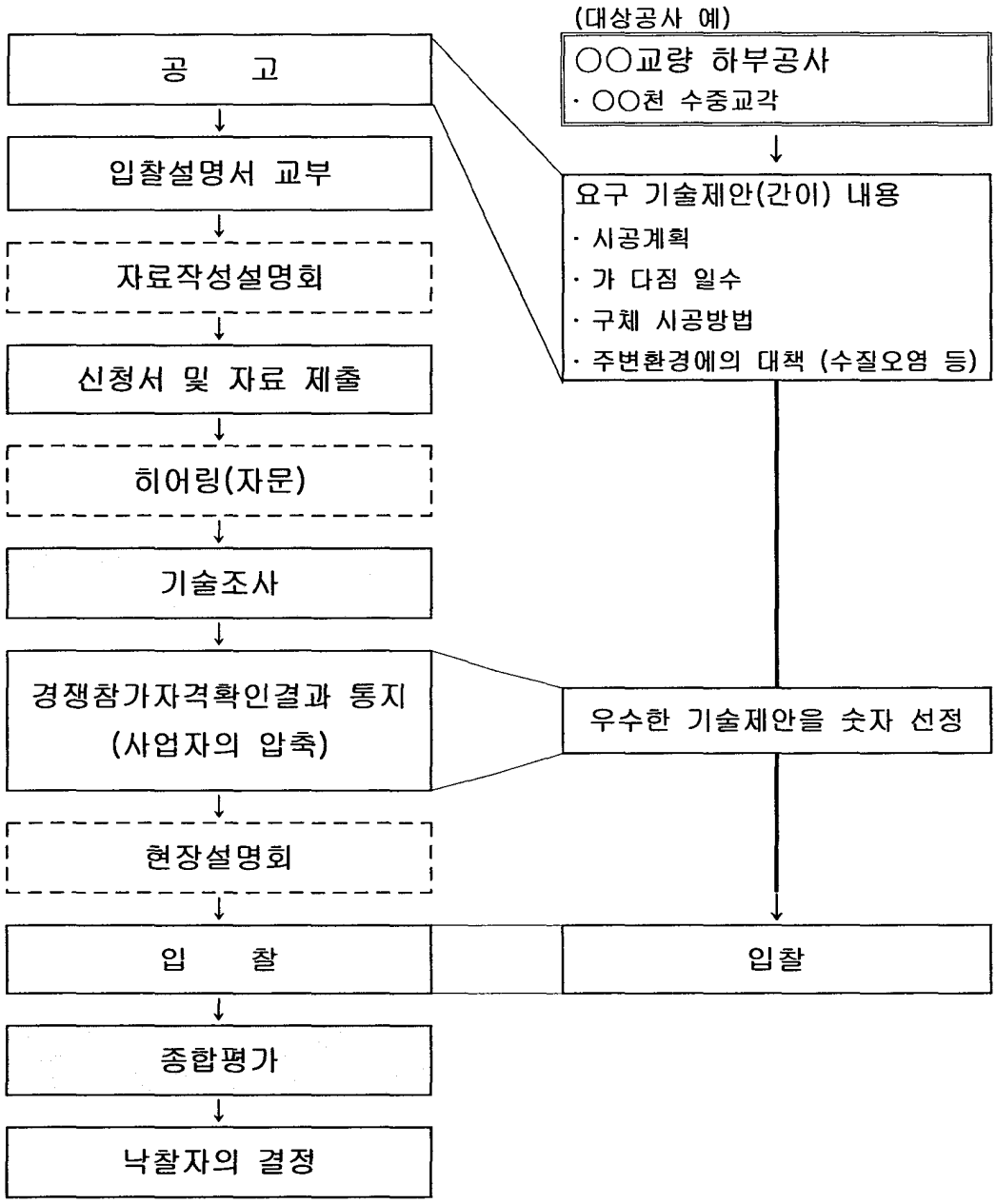
- 대화방식



- 2단계선발방식


(대상공사 예)
공 고
입찰설명서 교부
자료작성설명회
신청서 및 자료 제출
(간이 기술제안)
히어링(자문)
기술조사
경쟁참가자격확인결과 통지
상세한 기술제안 제출요청
개선된 기술제안의 제출
기술심사
기술심사결과 통지
현장설명회
입 찰
종합평가
낙찰자의 결정
○○교차점 입체교차
· ○○교차점의 언더패스 설치
요구 기술제안(간이) 내용
· 시공계획 (개략)
· 개략 시공방법, 적용공법
· 시공일수 (개략)
요구 기술제안(상세) 내용
· 시공계획 (상세)
· 구체 시공방법, 적용공법
· 시공일수 산정근거
· 통과교통 안전대책
· 주변환경에의 대책
(소음, 보행자안전, 미관 등)
입찰

- 이봉통방식



(3) 발주자 평가체제

공공공사의 발주자는 종합평가방식을 실시함에 있어, 종전의 평가경쟁에 비해, 한층 기술적인 판단과 조사 · 평가 등이 요구된다.

따라서, 발주자는 공사특성(공사규모나 기술적과제의 난이도) 등을 고려하여, 기술적인 조사와 평가를 위한 체제를 준비할 필요가 있다.

기술적인 조사 · 평가 체제를 아래에 열거한다.

Case 1 : 모든 발주자를 기술직원으로 실시

Case 2 : 기본적인 발주자를 기술직원으로 실시하고, 평가방법 등의 결정, 기술조사에 대해서는 발주자 지원 기관 등에 위임

Case 3 : 행정판단을 제하고 기술적인 평가 · 조사는 모두 발주자 지원 기관 등에 위임

표 2.24 단계별 발주자의 역할

단 계	종합평가방식에 의한 발주자의 역할	비 고
종합평가방식 적용 결정	공사특성(공사규모나 기술적과제의 난이도) 등에 따라 적부 판단	지방자치체에서는 학식경험자의 의견 등을 반영
입찰 평가에 관한 기준, 낙찰자의 결정방법 설정	공사특성(공사규모나 기술적과제의 난이도)나 지역성 등에 따라 평가항목과 평가기준, 평가방법 등을 선정 · 결정하기 위한 기술적 판단	상 동
기술조사	입찰참가예정자로부터 기술제안과 기술자료 등의 기술적인 조사와 평가 필요에 따라 비치예정기술자에 대한 히어링(자문)에 의한 기술적인 조사와 평가	
낙찰자 결정	종합평가방식에의한 낙찰자의 결정	지방자치체에서는 학식경험자의 의견 등을 반영
이행 확보	낙찰자(계약상대)의 기술제안과 기술자료 등의 이행상황 검정 또한 불이행의 경우의 조치	
공사 평가	이행검증 결과 등을 통한 공사성적의 정정한 평가 실시	

또한, 발주자에 요구되는 기술력은, 공사의 규모, 기술적과제의 난이도에 대응한 각 영역(Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ)에 따라 다르다. 특히 영역 Ⅰ 및 Ⅱ에 해당하는 공사를 실시할 때에 기술자가 거의 없는 등의 이유에 의해 기술력이 부족한 경우에 대해 발주자 지원 기관 등을 활용해 발주 관계 업무를 적절히 실시할 필요가 있다.

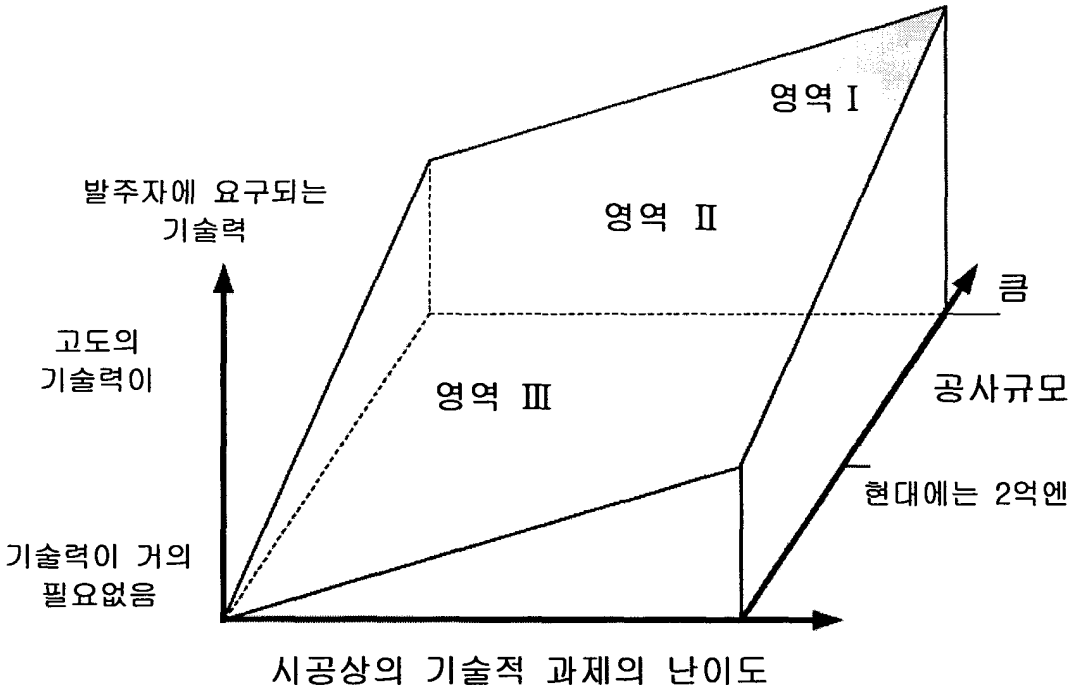


그림 2.14 공사규모와 과제의 난이도에 따른 발주자에 요구되는 기술력

발주자 지원 기관 등에 요구되는 자격요건에 대하여 중부지방정비국이 작성한 안을 참고로 예시한다.

(가) 발주자 지원기관의 인정

- 발주자 지원 업무를 실시하는 것이 가능한 기관의 인정 요건은 아래와 같다.
- 현재로서는 각 현의 건설기술센터 등 및 건설협회를 대상으로 시행한다.

인정대상	자격 요건 등
지원 기관	• 공평성, 중립성이 담보될 것 • 토목공사에 관한 각종기준에 정동하고 있을 것(전문성 담보) • 법령의 준수 및 고도의 수비의무(비밀유지)가 담보될 것 • 업무수행에 필요한 기술자가 확보 가능할 것 이상을 종합적으로 판단하여 인정자가 인정한 기관으로 함.

(나) 발주자 지원업무의 기술자 인정

- 발주자 지원 업무를 실시하는 것이 가능한 기술자의 자격요건은 아래와 같다.

<table>
<tr><th>인정대상</th><th colspan="2">자격 요건 등</th></tr>
<tr><td>관 리
기술자</td><td colspan="2">아래의 가 ~ 다 모두 해당하는 자
가 : 인정을 받은 기관과 항상적인 고용관계가 있는 자
나 : 「발주자 지원 업무 등 관리기술자 인정시험(가칭)」에 합격한 자
(유효기간 : 5년)
다 : 「발주자 지원 업무 등 관리기술자 강습회(가칭)」를 수강한 자
(유효기간 : 5년)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">담 당
기술자</td><td colspan="2">※ 인정을 받은 기관과 고용계약이 있어, 아래의 어떤 것에 해당하는 자</td></tr>
<tr><td>업
자
선
정</td><td>① 아래의 가 ~ 나 모두 해당하는 자
가 : 「발주자 지원업무 등 관리기술자 인정시험(가칭)」에 합격한 자
(유효기간 : 5년)
나 : 「발주자 지원 업무 등 관리기술자 강습회(가칭)」를 수강한 자
(유효기간 : 5년)</td></tr>
<tr><td>적
산
업
무</td><td>① 기술사(건설부문 및 종합기술감리부문)의 자격이 있고 공사적산에 관한 업무를 1년 이상 경험한 자
② 2급 토목시공관리기사의 자격이 있고 공사적산에 관한 업무를 3년 이상 경험한 자
③ 공공공사의 발주자로써 실무경험이 3년 이상으로 공사의 설계 · 적상업무의 경험을 한 자</td></tr>
<tr><td>감
독
업
무</td><td>① 기술사(건설부문 및 종합기술감리부문)의 자격이 있고 시공관리에 관한 업무를 1년 이상 경험한 자
② 2급 토목시공관리기사의 자격이 있고 시공관리에 관한 업무를 3년 이상 경험한 자
③ 공공공사의 발주자로써 행정경험이 10년 이상으로 시공관리에 관한 업무를 3년 이상 경험한 자</td></tr>
<tr><td>검
사
업
무</td><td>① 아래의 가 ~ 나 모두 해당하는 자
가 : 「발주자 지원업무 등 관리기술자 인정시험(가칭)」에 합격한 자
(유효기간 : 5년)
나 : 「발주자 지원 업무 등 관리기술자 강습회(가칭)」를 수강한 자
(유효기간 : 5년)</td></tr>
</table>

(다) 인정 기관

- (1), (2)의 인정은 현재로서는 관계 행정기관에서 구성되는 협의회 등에 있어서 실시함.

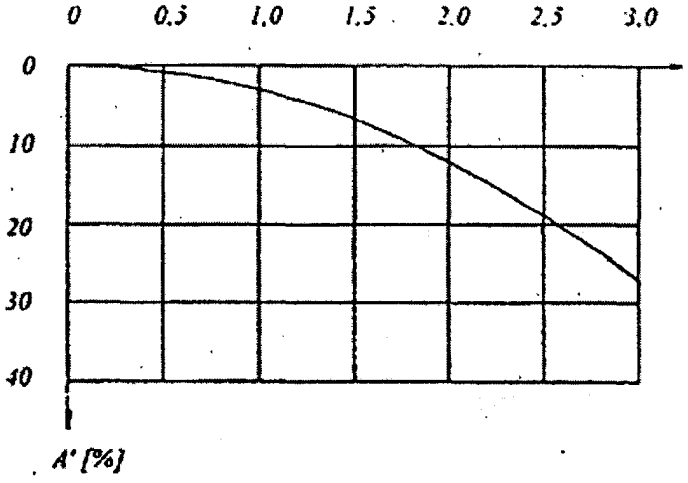
라. 유럽의 성능기준 현황

(1) 지불규정 적용사례

- 관련 법규 제·개정 등 제도 마련 후 기준 제·개정 및 실시
- 독일에서는 시공성과품의 최종 성능이 규정된 허용치에 미치지 못했을 경우의 첫 번째 해결책은 시공회사가 성능을 만족시키기 위한 보강방안을 제시해서 규정된 성능을 만족시키거나, 두 번째 방법은 정상 시공시 제시된 공사 총 금액에서 성능 부족분만큼의 금액을 삭감하는 지불규정(Pay factor)의 적용, 그리고 세 번째 대안은 완전 재시공을 들 수 있음.
- 지불규정의 적용의 경우 평탄성을 예를 들면, 성능 부족분에 대한 지불규정의 내용이 미리 논리적으로 제시되어 있고, 허용치를 벗어나는 정도가 커짐에 따라 지불의 정도는 비례적이 아니라 비선형적으로 증가됨.

a) 삭감액을 %로 나타낸 그래프

$A'[\%] = p^2 \cdot 3$



b) 삭감액을 %로 나타낸 표

p %	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
A'%	-	0,1	0,3	0,5	0,7	1,1	1,5	1,9	2,4	3,0	3,6	4,3	5,1	5,9	6,7
p %	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
A'%	7,7	8,7	9,7	10,8	12,0	13,2	14,5	15,9	17,3	18,7	20,3	21,9	23,5	25,2	27,0

그림 2.15 포장 평탄성에 따른 지불금액 사례(독일)

- 지불규정의 경우 공사금액을 깎는 것이 목적이 아니라 이를 통해 품질이 좋은 시공을 유도하는 것이 목적이기 때문에, 공사 중 하자가 발생되었을 경우 공사기간을 연장을 해서라도 공사를 마무리해야 하고, 그 문제가 시공사의 잘못이라면 시공사가 끝까지 책임을 져야 함.

(2) 품질보증제도 현황

유럽의 품질보증제도는 정부 시방서나 혹은 산업 발전에 따라 서로 독립적으로 발전하였으나, 모든 나라들이 성능보증제도가 그들의 도로 시스템의 품질을 높였다고 확신하고 있다.

몇몇 유럽의 도로국들은 포장의 품질보증제도를 40년 이상 사용해 오고 있으며, 주요 국가들은 적어도 전통적인 계약방식 상에 자재와 기술숙련도에 대한 객관적 관리기준을 통한 수십 년간 보증제를 채택하고 있으며, 이는 시공자에게 발주자가 설계에 명시한 조건으로 포장을 시공하고 부적합한 자재의 사용이나 부실시공에 기인한 어떠한 하자도 보수할 것을 보증하도록 한다.

각 도로국들은 원도급자나 아스팔트 포장 시공사들로부터(원도급자가 아스팔트 포장을 시공하지 않을 경우) 하자에 대한 구제책을 찾으며, 이러한 나라들은 자재와 기술숙련도 보증에 소성변형, 균열, 내구성에 관련한 성능지수를 사용하고 있으며, 이 외에도 평탄성 및 마찰성능의 측정이 종종 적용되고 있다.

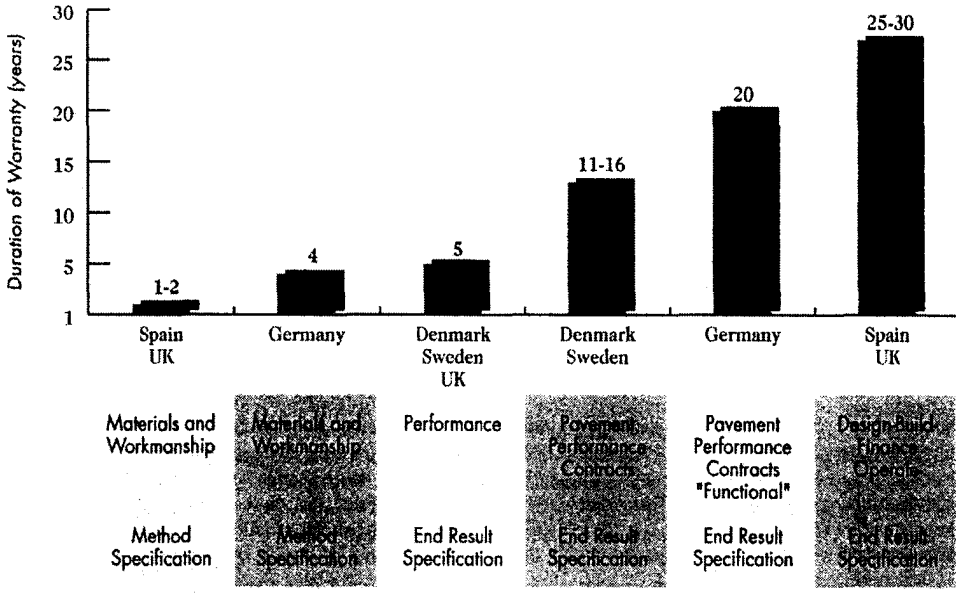
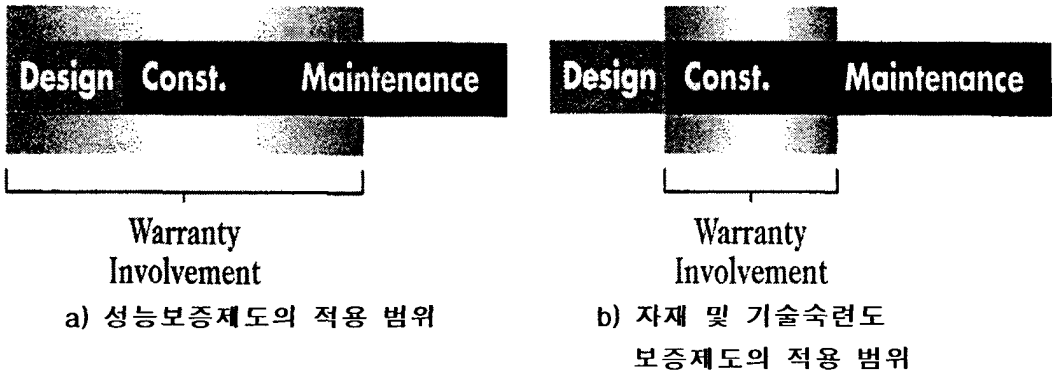


그림 2.16 유럽 각국의 품질보증제도

성능보증제도는 배합설계나 자재, 시공에 혁신을 가져올 수 있으며, 정도의 차이는 있으나 유럽 주요국들의 사례에서 다음 그림에서 나타나듯이 자재 및 기술숙련도 보증제도에 비해 훨씬 큰 혁신 효과가 있음을 알 수 있다.



a) 성능보증제도의 적용 범위

b) 자재 및 기술숙련도 보증제도의 적용 범위

그림 2.17 건설프로세스 상 적용범위

영국, 독립, 스웨덴 등 유럽에서는 30~40년 전부터 보증제도를 실시해 왔다. 60~70년대에 도입된 초기의 성능보증은 자재 및 제작기술(material and workmanship)에 관한 보증이었지만, 최근에는 설계시공일괄방식, DBFO(Design-Build-Finance-Operate), PPCs(Pavement Performance Contracts)를 활용하는 장기 성능보증(performance warranty)으로 확대되었다.

표 2.25 유럽 성능보증 프로그램의 개요

	계약방식	도입시기	보증기간	적용현황
덴마크	전통적계약 PPCs	60년대 초 90년대 후반	5년 10년 이상	모든 프로젝트 보증기간 다양
독 일	전통적계약 PPCs	70년대 초 2000년	4년 20년	모든 프로젝트 보증기간 다양
스페인	전통적계약 DBFO	70년대 초 1997년	1년 30년	모든 프로젝트 보증기간 다양
스웨덴	전통적계약 성능보증	60년대 초 1980년	5년 5~8년	모든 프로젝트 보증기간 다양
영 국	전통적계약 DBFO	70년대 초 1994년	2년 30년 이상	모든 프로젝트 보증기간 다양

(3) 지불규정과 품질보증기준의 혼용

- 기본적인 가정은 시공이 완료된 시점에서 지불규정을 적용해야 할 정도로 품질이 좋지 않다면, 품질보증기준을 적용할 수 없다는 것임.
- 따라서, 지불규정과 품질보증기준의 혼용은 성립되지 않는다고 함.
- 성능계약시 재료의 선정에 자율권이 시공업체에 주어진다 하더라도, 선정된 재료에 대한 타당성을 입증할 세부적인 자료를 첨부해야 함. 그리고 이를 뒷받침 할 수 있는 장기적 그리고 지속적 연구의 필요성 증대로 인해, 시공기술 및 연구의 활성화가 뒷받침 되어야 할 것임.

표 2.26 유럽과 미국 각 주별 품질보증 현황

	보증기간	품질보증 형태	시방서 형태
영국(design-bid-build)	2년	재료 및 공법	Method
영국(design-bid)	5년	단기공용	End Result
스페인	1년	재료 및 공법	Method
독일	4년	재료 및 공법	Method
덴마크	5년	단기공용	End Result
스웨덴	5년	단기공용	End Result
미네소타	2년	재료 및 공법	Method
콜로라도	3년	재료 및 공법	Method
플로리다	3년	재료 및 공법	Method
일리노이	5년	재료 및 공법	Method
인디애나	5년	재료 및 공법	Method
미시간	5년	재료 및 공법	Method
오하이오	7년	재료 및 공법	Method
위스콘신	5년	재료 및 공법	End Result
플로리다(design-build)	5년	단기성능	End Result
미네소타(design-build)	5년	단기성능	End Result
미시간(performance)	7년	단기성능	End Result

마. 국외 품질보증계약 배경 및 현황

(1) 해외 품질보증계약 개요

- 관련 법규 제·개정 등 제도 마련 후 기준 제·개정 및 실시
- 품질보증계약(Warranty Contract)이란 일반적으로 성능기초계약의 한 종류로서 제품의 보전을 보증하고 계약자에게 결함에 대한 보수와 교체에 대한 책임을 할당 시키는 계약을 말함.
- 유럽의 도로국 들은 오랫동안 도로포장건설에서 특히 아스팔트 포장에서 품질보증계약을 시행하여 왔으며, 이들 나라는 수 십 년 동안 재료 및 공법에 대한 품질보증계약(Material and Workmanship Warranty Contract)을 시행하여 오고 있다. 이러한 유럽의 품질보증 프로그램들은 정부의 시방서나 혹은 산업 발전에 따라 독립적으로 발전되어져 왔으나, 시행하고 있는 모든 나라들은 이 품질보증제도가 그들의 도로 및 교통 시스템의 품질을 향상시켰다고 확신하고 있음.
- 미국의 각주의 도로국들은 아스팔트 포장 사업에 대하여 품질보증계약을 이행하기 위하여 논의 하였으며, 이러한 도로국들은 그들이 품질보증 계약을 통하여 설계 및 시공의 과정동안 공기를 줄이고 계약자의 신기술을 도입함으로서 공용성을 증진시킬 수 있으리라 판단하였고, 이 품질보증계약을 실시함으로서 불필요한 공무원의 수를 줄이고 도로국내의 건설관련 전문가의 수를 줄임으로서 구조조정을 할 수 있는 것 또한 확인하였음.
- 미 도로국들은 품질보증 계약제도의 이러한 유용성 및 위험요소를 평가하고 이를 효과적으로 운영키 위하여 유럽의 아스팔트 도로포장 품질보증계약 조사팀을 구성하여 1990년에 유럽으로 아스팔트 연구단을 보냈고, 1994년에는 건설 경영 기술을 파악하기 위하여 품질 향상 연구단을 파견했다. 2002년 9월 미국 조사단은 유럽의 품질보증계약의 위험성에 대한 평가와 그것에 대한 관리를 조사하고 기록하기 위하여 유럽을 방문함.
- 2000년 12월에 미연방도로국(FWHA)는 미국에서 계약자가 미연방도로국과 계약할 때, 품질보증의 사용에 대한 아웃라인인 품질보증 조항을 가지는 보고서를 발표

- 이 보고서에서, 그것은 미국의 각 주들은 도로포장과 관련된 품질보증 규정을 따라야 하는 것에 대한 내용이 열거되어 있음.
- 2000년도 미연방도로국의 보고서 이래로 일리노이, 켄터키, 루이지애나, 미네소타, 버지니아, 오하이오 그리고 워싱턴 등 많은 주에서 품질보증계약을 시행해 오고 있음.
- 아스팔트 포장 뿐 아니라, 주별로 콘크리트포장, 교량 도색 그리고 인공지능 교통시스템 구성 등에도 품질보증을 적용함. 유럽보다 오래되지 않았으나 전체에 시행 중임.

(2) 해외 품질보증계약 형태

(가) 재료 및 공법 품질보증 (Materials and workmanship warranties)

이 품질보증계약은 발주자에 의해 재료 및 공법에 대한 지정받은 시방서에 따라서 계약자가 도로포장을 지을 것 인 것인가에 대하여 확실하게하고, 부적당한 재료 또는 조악한 설치의 사용에서 발생하는 어떠한 결함들이라도 보수 및 교체하게 한다. 우리나라의 하자보증제도와 거의 유사한다.

(나) 성능 품질보증 (Performance warranties)

계약자는 보증 기간 동안에 도로포장 성능에 대하여 전적으로 책임을 진다.

효과적으로, 계약자는 도로포장이 요구되어진 수준의 품질의 성능을 가지도록 보증한다. 포장의 구조 또는 배합 결정을 위해 품질보증 시방서에 따라 계약자는 어떠한 책임의 수준을 맡는다. 품질보증은 세계에서 보편적으로 사용되어지고 있으나 보증형태에 따는 시방서사의 정의 명확히 구분되어 있지 않다.

(다) 대안적 계약 (Alternative Contracting)

도로포장 성능 계약은(PPCs)는 성능 품질보장계약보다 포자의 설계 수명에 가깝게 품질보증 기간을 확장시킨다. 도로포장 성능 계약에서, 계약자는 사전의 정의 되어진 품질보증 시방서 수준의 포장의 성능에 대한 설계, 시공 그리고 유지의 책임이 있다. 유럽의 나라들은 다양한 도로포장 성능 품질보증을 실시하고 실험하였다. 독일, 스페인 그리고 영국의 도로국은 도로포장 성능 계약을 장려하였다. 그러나 도로포장 성능 계약을 민간투자사업으로 촉진시킨 것은 덴마크와 스웨덴이었다. 결국 모든 유럽의 나라에서, 도로포장 성능 계약은 정부와 민간의 공조로서 발전되었다.

계약자의 제의로서 도로포장이 건설되어졌기 때문에 많은 수의 독립적인 구혈(Pothole)의 되 메우기나 소규모 도로포장에서 중요한 포장부분에 완벽한 밀링과 덧씌우기가 가능해졌다. 도로국은 단지 민간투자사업단이 품질보증시방서 기준대로 만들고 운영하는 도로포장을 감시하면 하면 된다. 도로포장 성능 계약은 민간투자사업단에게 보다 더 많은 신기술 적용을 허용한다. 그러나 민간투자사업단은 실질적 위험을 기꺼이 감수해야 한다. 계약자들은 도로포장 성능 계약에 대하여 설계, 시공 그리고 운영에 대한 충분한 자산을 가지고 있어야 한다.

DBFO는 민간투자추진사업계약의 한 형태로서 민간투자자가 프로젝트의 설계, 시공, 금융, 운영을 전담하는 방식이다. 스페인과 영국에서, 도로국은 서비스 제공자에서 소유 및 관리자로 그 역할이 바뀌었다. 그들은 장기간의 재정 조달, 운영 및 유지를 위하여 그들의 도로 네트워크의 작은 한 부분을 민간 부분으로 인계하였다. DBFO계약 기간에 대해서 미국 연구팀의 결과 25년에서 30년 정도인 것으로 조사되어졌다. 그러나 다른 유럽국가들은 심지어 더욱더 긴 DBFO를 실험하고 있다. DBFO 계약들의 사용을 위한 운영자들은 공적 자금의 부족으로 인하여 민간의 투자와 유지가 높은 질을 가진 제품을 낳게 되고 공공 부문의 성능에 대하여 벤치마킹을 제공한다는 믿음을 가지게 되었다. PCCs나 DBFO를 사용하는 것은 미국 및 유럽이 많은 국가들에서 그들의 도로 및 교통 시스템에서 당면한 여러 과제에 대하여 필요한 묘책으로서 생각되어지고 있다.

(3) 성능보증계약의 기간

전통적인 방법에서, 성능보증계약 기간은 시공에 대해서만 재료 및 공법에 대하여 그 보수 및 교체에 대한 책임을 1-2년 정도 길게는 5년 정도 가졌으나 ,보증 성능보증계약의 방법과 그에 관한 연구의 발전에 따라서 그 기간이 점점 더 늘어나고 있고 그 범위가 넓어지고 있다. 또한 해당공사의 형태, 시방서의 형태에 따라 그 기간이 각각 다르다. 다음은 품질보증 형태 및 시방서 형태에 따른 각 나라 및 주의 보증기간을 나타낸 것 이다.

(4) 성능보증계약의 보증채권

제품의 보전을 보증하고 계약자에게 결함에 대한 보수와 교체에 대한 책임을 할

당 시키는 보증계약에서 보증인이 채무에 대하여 책임지는 채권이다. 그 크기며 형태는 공사계약 및 입찰의 형태에 따라서 가지각색이다.

(5) 성능보증계약의 평가방법

성능보증계약의 평가는 발주자가 계약기간동안 일정한 기준분할구역(Segment)을 공사의 규모 및 형태에 알맞게 정한 뒤 품질보증 시방서에서 정의한 품질보증 기준인자에 대하여 평가하고, 만일 기준인자가 시방서에서 정의한 임계한도를 넘어설 경우 그것에 대한 시정조처를 내린다.

(가) 기준분할구역

성능보증계약의 평가를 하는데 있어 가장 기준이 되는 구역으로 품질보증 기준인자에 따라 그 범위는 가각 다르다.

(나) 품질보증 기준인자

품질보증 기준인자는 품질보증계약을 평가하는 인자이며, 다음은 그 사례이다.

표 2.27 도로포장 성능인자의 선정 예

아스팔트 포장	콘크리트 포장
횡방향 균열(Transverse Crack) 종방향 균열(Longitudinal Crack) 블록 균열(Block Cracking) 피로 균열(Fatigue Cracking) 디본딩(Debonding) 래벌링(Raveling) 플러싱(Flushing) 소성변형(Rutting)	횡방향 균열(Transverse Cracking) 종방향 균열(Longitudinal Cracking) 코너 균열(Corner Cracking) 맵 균열(Map Cracking) 건조수축균열(Shrinkage Cracking) 줄눈 스폴링(Joint Spalling) 줄눈실런트 파괴(Joint Sealant Damage) 쉐터드 슬래브(Shattered Slab) 기능 상실 줄눈(Nonfunctioning Joints) 팝아웃(Popouts) 스케일링(Scaling)

(다) 임계한도 및 시정조처

품질보증 기준인자는 각각에 대하여 그 허용 한계가 있으며 그것을 넘었을 시에는 적절한 시정조처가 필요하다. 다음은, 아스팔트 포장의 품질보증 기준인자에 대

한 임계한도와 시정조처에 대한 표의 한 예이다.

표 2.28 도로포장 품질 평가기준 및 시정조치 예

성능지수	성능 기준 구분의 임계 한도	권장 시정조처
횡방향 균열	▪ 기준 분할 구간당 5개 균열까지, 각각의 균열의 길이는 6피트 혹은 기준 분할 폭(W)의 1/8까지 허용함. ▪ 횡방향 균열은 4년 후부터 메우고 연결함	▪ 라우팅(Routing), 실링(Sealing).
종방향 균열	▪ 기준 분할 구간 길이(L)의 10%까지 허용함. ▪ 종방향 균열은 4년 후부터 메우고 연결함	▪ 라우팅(Routing), 실링(Sealing).
블록 균열	▪ 기준 분할 구간 길이(L)의 10%까지 허용함.	▪ 밀링(Milling), 재포장, 표면 처리(간단한 실링 혹은 미세표면처리).
피로 균열	▪ 기준 분할 구간 길이(L)의 1%까지 허용함.	▪ 충분한 깊이까지 보수, 재포장.
디본딩	▪ 허용되지 않음	▪ 밀링(Milling) , 재포장.
래벌링	▪ 기준 분할 구간 넓이(A)의 1%까지 허용함.	▪ 밀링(Milling), 재포장, 표면 처리(간단한 실링 혹은 미세표면처리).
플러쉉	▪ 기준 분할 구간 길이(L)의 1%까지 허용함.	▪ 밀링(Milling), 재포장.
소성변형	▪ 평균 0.25인치의 홈 깊이 정도까지 허용함	▪ 미세표면처리(Microsurface), 밀링(Milling), 재포장.

(6) 품질보증계약의 분쟁

(가) 분쟁조정기구

보증기간에 발생한 파손(distress)에 대한 분쟁에 대하여 그 책임을 판별하기위하여 계약자와 발주자로 구성된 팀 또는 외부의 평가팀을 만들어 그 원인을 조사하고 어떠한 방법(예, 다수결의 원칙)에 의하여 분쟁을 조정한다.

(나) 분쟁조정기구의 형태 및 구성

계약자와 발주자에서 각 2명씩 대표를 선출하고 시공자와 부가 모두 동의한 사람으로 1명 선출하여 CRT(Conflict Resolution Team)(5명)을 만든다.

(다) 분쟁조정방법의 사례

다음은 미국의 주들 중 품질보증계약이 보다 더 잘 정착되어 사용되고 있는 오하이오 주와 미시시피 주 및 인디애나 주의 분쟁조정방법 사례이다.

표 2.29 오하이오, 미시시피, 인디애나 주의 분쟁조정방법

	Ohio	Mississippi	Indiana
Warranty 기간	7 years	10 years	5 years
Bond	40 (%) 시공완료 후 30일 안에 C-85 발효하면 효력발생		20 - 40 (%) 교통개방 직 후 효력 발생
분쟁조정방법	· 매년 DRT(District Review Team)이 2 segment 이상 포장 조사한다. · 조사 후 15일 안에 시공자에게 결과 보고한다. · DDD(District Deputy Director)는 DRT에 의해 조사된 내용을 반박할 수 있으며 시공자에게 알린다. · DCE(District Construction Engineer)가 포장파손이 시공자의 책임인지 아닌지를 결정하며 시공자의 잘못으로 판단되는 경우 비용은 시공자가 부담한다. · 시공자는 DCE의 결정이 있은 후 15일안에 이의제기를 할 수 있다. · 시공자의 이의제기가 있는 경우 이의제기 후 45일 안에 DCE가 재평가 한다 (* 구조적 문제는 시공자의 책임 아님)	· 시공자와 부에서 각 2명씩 대표를 선 출하고 시공자와 부가 모두 동의한 사람으로 1명 선출하여 CRT (Conflict Resolution Team) (5명)을 만든다. · CRT는 특별조항에 의하여 포장파손을 조사하며 분쟁 발생 시 최종권한은 갖는다. · 조사자는 조사 전에 포장파손에 대한 기준표를 받는다. · CRT는 5명의 투표를 통해 다수결에 따라 분쟁을 조정한다.	· 시공자와 부에서 각 2명씩 대표를 선출하고 시공자와 부가 모두 동의한 사람으로 1명 선출하여 CRT(Conflict Resolution Team)(5명)을 만든다. · 시공자와 부에 분쟁이 발생한 경우는 다수결에 의해서 결정한다. · 시공자가 포장파손 조사에 대해 동의하지 않거나 부가 제시된 보수방법에 이의가 있는 경우 CRT가 30일안에 방법을 제시한다. · Warranty기간 동안 해당구간의 30% 이상 segment를 보수해야할 경우 시공자와 부가 전면 재시공 여부를 결정해야 한다. · Warranty기간 동안은 부의 지원 없이 포장파손 조사에 따라 보수를 진행한다. · 시공자는 부의 동의 없이 파괴시험을 할 수 없으며 부에서 실시한 파괴시험으로 인한 포장파손에 대한 책임이 없다.

2. 건축물분야 국외 기술개발 현황

건축성능에 대한 연구는 1960년대부터 세계적으로 수많은 조사·연구가 꾸준히 진행되었으며, 차츰 그 성과를 실제 적용할 수 있는 단계에까지 이르게 되었다. 1980년 건축성능에 관한 최초의 ISO 규격이 제정된 이래 현재까지 꾸준히 정비되고 있으며, 1984년에는 영국의 건축법규에 성능규정이 도입되어, 1991년에는 성능법규로서 정비되었으며, 건축기준의 성능지향개념에 대해 각국의 경험을 바탕으로 문제점을 공유하며 토론함으로써 차세대의 성능지향 건축기준 구상이나 다른 국가에도 성능지향 개념을 보급시킬 목적으로 건축분야에서는 각국의 연구기관의 국제적 연계조직인 CIB(국제건축연구·정보회의)에서 태스크 그룹(TG11, 1993)이 설치되었다. 그 후 각국의 시스템 상호비교, 일반원리추출, 제반문제의 명확화 등의 활동을 계속해오다가 CIB/TG37이나 건축규제 행정조직이나 건축모델코드 조직이 결정한 IRCC(국제건축규제 담당기관 연계위원회)로 이어져 현재에 이르고 있다.

또한 미국은 2세대 성능설계법이 FEMA 및 PEER를 중심으로 활발히 연구되었고 그 결과가 실재 설계에 반영되고 있으며, 일본의 경우 강구조 건축물의 성능설계기법의 일환으로 한계내력설계법 및 에너지 효율성을 건축법 제 38조에 개정하여 시행하고 있다.

재료의 성능에 대해서는, 일본의 경우 건설성(현 국토교통성) 건축연구소에서 1960년경부터 약 15년간 집중적으로 수행한 [재료설계에 관한 연구]가 있으며, 이 연구는, 1972년에 RIREM[9]-ASTM-CIB[10]가 공동으로 주최한 [건축성능에 관한 제1회 심포지엄]에서 가장 논리적인 시스템이라는 평가를 받은 바 있으며, 1973년에는 JIS A 0030 [건축의 부위별 성능 분류] 및 JIS A 1414 [건축용 구성재 및 그 구조부분의 성능시험방법]이 제정되었으며, 일본건축학회 관동지부의 재료·시공분과위원회에서는 성능시험방법연구 소위원회를 설립하여, [재료설계에 관한 연구] 등을 참고로 1984년부터 5년간에 걸친 조사연구를 수행하였다.

이러한 건축성능 연구의 발전 과정은 논리적, 실험적인 검토를 통하여 현재까지 상당한 진척을 보이고 있으며, 이에 관한 일련의 과정을 1960년대부터 현재에 이르기까지 다음 표에 나타낸다.

---

9) 국제재료구조시험연구기관연합
10) 국제건축연구정보회의

표 2.30 국외 건축성능의 발전 과정

년 도		구 미	일 본	
1960년대	1965	CIB W 45(인간의 요구) 위원회 발족	1965	일본건축학회대회 연구협의회, '건축의 성능에 대하여' 개최
			1966	건축잡지, '건축의 성능' 특집
			1967	커튼월공업회, '커튼월 성능표준' 작성
			1968	프리패브건축협회, 건축부위별 성능 JIS 원안 작성 개시
	1969	미: 주택 성능설계 'Operation Breakthrough' 개시		
1970년대	1970	ISO, 성능개념의 ISO규격 적용 검토 개시	1970	건설성, 성능시방에 따른 파일럿 하우스기술고안 경기 개시
	1972	RILEM, 성능연구 중시의 활동방침 제안	1972	건설성 건축연구소, 공업화주택 평정기준안 작성
	1972	RILEM-ASTM-CIB, 성능 심포지엄 개최		
			1973	JIS A 1414(건축용 구성재 및 그 구조부분의 성능시험방법), JIS A 0030(건축의 부위별 성능 분류) 제정
			1973	건설성 총 Project(주택성능종합평가 시스템) 개시
			1973	건설성, 공업화주택의 성능인정 개시
	1975	CIB W 60 (건축성능) 위원회, '성능개념과 용어'간행	1975	일본건축학회대회 연구협의회, '건축성능과 관련한 재료시공상의 제문제' 개최
			1975	성능적 사고를 도입한 JASS 5 (철근콘크리트공사 표준시방서) 개정
1980	1980	건축성능에 관한 최초의	1980	건축잡지, '주택의 성능' 특집

년대		ISO규격 제정	1982	(재)성능보증주택 등록기구 설립 인가 및 주택성능보증제도 전국 보급
	1984	영: 요구사항을 정리한 건축법의 도입		
	1985	영: 건축규칙(군)을 제정		
1990 년대	1991	영: 건축규칙(군)을 재정비하여 성능법규체계가 어느 정도 정비됨	1993	성능적 화재안전설계 시스템에 관한 건설성 총 Project '방·내화성능 평가기술의 개발' 개시
			1994	성능적 화재안전설계 시스템에 관한 건설성 총 Project '방·내화성능 평가기술의 개발' 개시
			1995	성능을 기반으로 한 건설성 총 Project '신건축 구조체계의 개발'
			1996	개시 일본건축학회대회 연구협의회, '성능규정으로의 이행에 대한 재료·시공분야의 과제와 전망' 개최 성능개념에 입각하여 JASS 5(철근 콘크리트공사 표준 시방서) 재개정
	1998	USA-NSA 성능규정 발표		
2000 년대			2000	재단법인 건재시험센타에서 건축재료의 용도별성능 표준화에 관한 연구 개시
			2001	건축재료·부재료의 성능평가에 관한 연구

3. 구조물기초 분야 국외 기술개발 현황[11)]

가. 성능설계 동향

(1) 개요

ISO(International Organization for Standardization)는 스위스의 제네바에 본부를 두고 있고 1974년에 창설된 비정부 국제조직으로서 국가 간의 물물교역과 그와 관련된 행동 및 표준을 개발하는 것 또한 국가 상호간의 지적, 과학적, 기술적 및 경제적인 행동을 개발을 촉진시킬 목적으로 조직되었다. ISO 설계표준 규정 중에서 건설 설계분야와 직접적으로 관련 있는 것은 "**ISO 2394**"로 구조물 신뢰성에 관한 일반원리이다. 현재 국제적으로 토목 및 건축 구조물의 설계에 있어, 실험과 설계에 대한 표준을 ISO 2394를 토대로 제정되고 있는 추세에 있는 것이다. 이러한 ISO 2394에서는 기본적으로 공용성 및 신뢰성을 기준으로 한 한계상태설계법을 채택하고 있다. 그러므로 구조물은 대상 구조물의 한계상태 조건에서 필요로 하는 공용성을 확보하는 차원에서 설계되는 것이다.

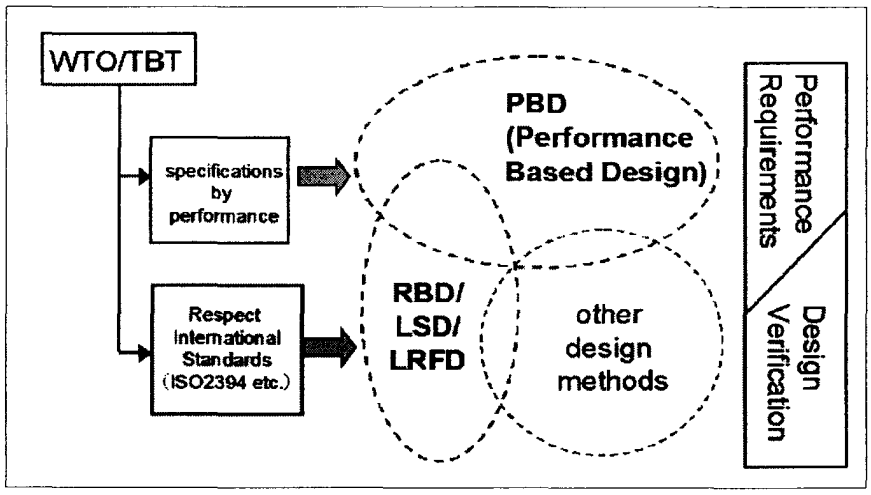


그림 2.18 성능설계에 관한 WTO/TBT 조약

11) ISO; International Standard ISO2394, General principles on reliability for structures, 1998
ICC 2000, Final draft ICC Performance Code for Buildings and Facilities, International Code Council
JGS (2004), Principles for Foundation Designs Grounded on a Performance-based Design Concept (nickname "Geocode 21")

위 그림과 같이 ISO 2394, 유럽코드, 성능설계 기준에 대한 국제적으로 지역적으로 통용될 수 있는 설계코드 개발에 대한 국제적인 동의가 1995년에 WTO(World Trade Organization)/TBT(Technical Barriers to Trade)에 의해서 조약이 맺어 졌다. 이러한 목적을 위해 성능중심 설계법(Performance based design, PBD)과 한계상태설계법(Limit state design, LSD)이 기본 설계법으로 채택이 되었다.

ISO의 부속 위원회인 TC 250인 CEN(European Committee for Standardization)은 유럽 18개 국가로 구성되어 있으며 현재 구조물의 모든 면을 다루는 소위 유로코드를 개발하고 있다. 총 9개 부분으로 이루어진 유로코드도 공용성을 기준으로 한 한계상태설계법으로 기본으로 하고 있다. 9개 부분 중에서 parts 2와 3이 항만 및 해안구조물에 관련되어있으며 part 7이 지반구조물 설계에 대한 것이다. 미국과 캐나다를 중심으로 한 북미는 유로코드에 대응하여 현재 하중저항계수설계법(LRFD)를 개발하고 있는 상태이며 미국의 연방도로국(AASHTO)의 설계기준으로 이미 채택되었고, 그리고 빌딩과 구조물에 대한 미국 국립설계기준(ANSI)에도 포함되었다. 또한 1989년 이후, 지진에 대비한 설계기준에서도 매우 관심 있게 한계상태설계법의 채택에 대해서 토론되고 있다. 아래 그림은 한계상태설계법에 관한 구역별 구분 및 발전배경에 대한 동향을 표시했다.

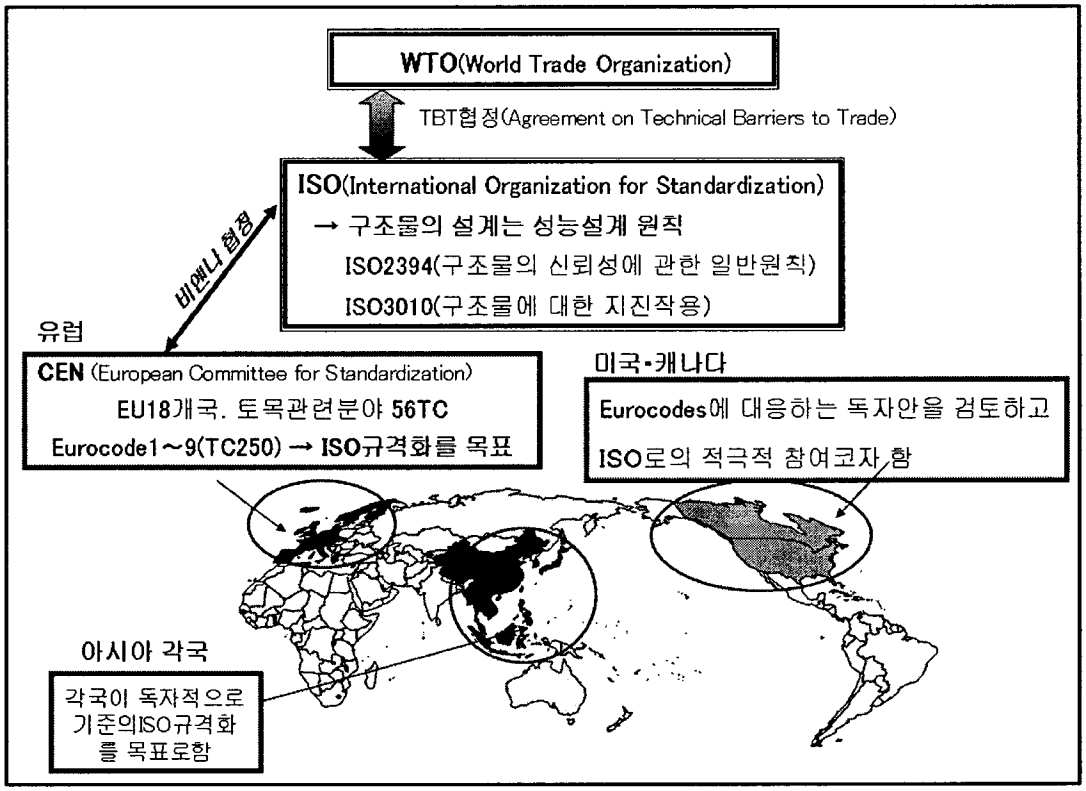


그림 2.19 성능설계기준의 세계적 동향

위 그림과 같이 북미와 유럽의 경우 한계상태 설계법을 구조분야 뿐만 아니라 지반분야에서도 적용하고 있으며 점차 그 사용빈도를 증가하여 표준화된 시방으로 사용할 계획이다. 그러나 아시아의 경우, 싱가포르와 홍콩, 일본 등을 제외하고는 한계상태 설계법에 대한 관심이 저조한 실정이다. 따라서 아직도 허용응력설계법이 지반구조물 설계의 대부분을 차지지만 한계상태설계법의 적용도 점점 증가하는 추세이다. 특히, 미국의 경우, AASHTO는 1994년 LRFD설계법을 채택하였으며 2002년에 하중저항계수에 대한 지침서를 출간하였다. 미도로국(FHWA)에서는 2004년 기준으로 약 23개 주에서는 교량기초 설계시 LRFD를 부분적으로 적용하고 있으나 2007년까지 모든 주에서 교량설계시 LRFD 설계법을 사용토록 지침을 정하였다.

(2) 국제 표준화 위원회 동향

ISO는 전술한 바와 같이 국가 간의 각종 상품과 서비스의 교역을 촉진시키기 위한 국제적인 표준을 개발하기 위하여 설립되었다. 현재 130개 국가를 회원으로 하고 있으며 기본적인 표준으로서 품질관리를 목적으로 한 "ISO 9000시리즈"와 환경관리를 목적으로 한 "ISO 14000 시리즈"를 제정하였다. ISO 설계표준 중에서 건설설계 분야와 직접적인 관련이 있는 분야는 ISO 2394 "구조물의 신뢰성에 관한 일반원리" 이다. 즉, 현재 국제적으로 토목 및 건축 구조물에 대한 실험과 설계에 대한 표준을 ISO 2394를 통해 규정하고 있는 것이다. 이러한 ISO 2394는 기본적으로 공용성 및 신뢰성을 기준으로 한 한계상태설계법을 채택하고 있다. 그러므로 구조물은 대상 구조물의 한계상태 조건에서 필요로 하는 공용성을 확보하는 차원에서 설계되는 것이다. ISO의 부속 위원회인 TC 250 CEN은 유럽 18개 국가로 구성되어 있으며 현재 구조물의 모든 면을 다루는 소위 유로코드를 개발하고 있다. 총 9개 부분으로 이루어진 유로코드도 공용성을 기준으로 한 한계상태설계법을 기본으로 하고 있다. 이 중 Part 7이 지반구조물 설계에 대한 것이며 Part 8은 내진설계에 대한 것이다. 미국과 캐나다를 중심으로 한 북미는 한계상태설계법의 하나인 하중저항계수설계법(LRFD)을 개발하고 있는 상태이며 미국의 연방도로국의 설계기준으로 이미 채택되었고 빌딩과 구조물에 대한 미국 국립표준설계기준(ANSI)에도 포함되었다. 일본의 경우, 자국에 적합하고 유리한 기준이 반영되도록 적극적으로 이들 위원회에 참여하고 있다. 우리나라도 늦은 감은 있으나 세계 건설시장에서 살아남기 위해서는 적극적인 참여가 요망된다.

(3) 외국의 설계 기준

모든 구조물은 적절한 안정성을 확보하는 것이 가장 중요하지만, 경제성의 확보 또한 매우 중요한 사항이다. 각 국가나 지역별로 경험이나 구조해석이론, 실험결과 등에 기초하여 설계기준을 제정하여 사용하고 있는 것도 결국 구조적 안정성과 경제성을 최적으로 조화시킬 수 있는 방안을 모색해온 과정이라고 할 수 있다.

구조물의 안정성을 결정짓는 중요한 것은 하중과 재료강도의 상대적인 크기이다. 이 경우 하중의 크기와 재료 강도는 실제로는 어떤 형태의 분포를 가진 확률량으로서 변동성을 갖고 있는 값들이다. 따라서 구조물의 안정성은 이러한 변동성을 고려하여 확률론적으로 신뢰성이론에 근거하여 평가하는 것이 올바른 접근방법이며 강도설계법이나 한계상태설계법은 모두 이 부류에 포함된다. 허용응력설계법에서도 비록 안전율을 도입하고 있으나 이는 강도설계법이나 한계상태설계법과 같이 신뢰성이론에 근거하여 정했다기보다는 단순히 경험과 판단에 의하여 불확실성을 평가한 결과라 볼 수 있다.

종래는 허용응력설계법이 유일한 설계법이었으나 1960년대 초반부터 강도설계법이 시방서에 채택되기에 이르렀고, 1970년 초에 이르러서는 한계상태설계법이 영국의 설계기준에 등장하였으며, 이 설계법으로 설계기준을 통일하려는 국제적 움직임이 유럽에서 태동하여 모델코드(model code)로 제안되고 있다. 우리나라도 1983년부터 강도설계법을 채택하고, 1996년 개정 시방서에서는 허용응력설계법을 부록으로 올려놓고 있다.

우리나라의 시방서가 그동안 미국의 ACI시방서를 기초로 하여 작성되었고, 미국 ACI의 주된 설계기준이 허용응력설계법을 거쳐 현재의 강도설계법으로 자리를 잡은 이유로 우리나라의 토목기술자들은 대체적으로 허용응력설계법 및 강도설계법에는 어느 정도 익숙해져 있으나, 영국(BS), 유럽(CEB-FIP), 유럽공동기준(EURO Code), 일본의 설계기준 등에서 채택되어 현재 강도설계법과 더불어 세계적으로 널리 사용되고 있는 한계상태설계법에 대한 지식 및 인지도는 상대적으로 부족한 실정이다. 따라서 향후 우리나라 항만구조물 설계기준의 효율적인 개정방향을 결정하기 위해서는 현재 세계 주요 국가의 설계기준의 동향을 파악하는 것이 중요하다.

국제표준화기구(ISO)는 1947년 2월에 「물질 및 서비스의 국제교환을 용이하게 하고, 지적, 과학적, 기술적 및 경제적 활동분야의 협력을 조장시키기 위해 세계적인 표준화 및 그 관련활동의 발전개발을 도모하는 것」을 목적으로, 스위스의 제네바를 본부로 해서 발족했다. 근래 이 ISO에서 제정된 국제규격은, 세계무역기구(WTO: World Trade Organization)에 의한 「정부조달협정」 및 「무역의 기술적 장애에 관한 협정」(TBT협정: Agreement on Technical Barriers to Trade)의 발효에 따라, 그 준수가 국제적으로 요청되어지는 상황이다. ISO 규격제정에 의해, 유럽

에서는 연대해서 유럽규격을 ISO규격에 반영하는 것을 추진하고 있으며, 종래의 규격에 대해서 별로 관여하지 않았던 미국도 ISO규격 제정에 관해서 적극적인 활동을 개시했다. 이러한 상황 하에서, 우리나라도 장기적인 전략을 가지고 우리에게 유리한 ISO규격이 제정되도록 대처해야 할 것이 요청된다.

한편, 국제규격원안을 처음으로 심의하는 기술분야의 전문사항의 심의는, 기술전문위원회(TC: Technical Committee)를 중심으로 이루어지고 있고 TC의 멤버자격은 P멤버와 O멤버가 있고, P멤버는 당해 TC의 투표권을 가지고 있는 동시에 회의에 출석을 요청 받게 되고, O멤버는 TC에 관한 정보를 받아, 초안에 대한 코멘트를 제출할 권리를 갖지만, 투표권은 없다. ISO는, 유럽규격(EN)의 제정기관인 유럽규격위원회(CEN)와 협조하고 있고, CEN에서 먼저 규격제정작업이 행하여지면 규격제정작업을 하지 않고, CEN에서의 작업결과를 ISO의 규격원안으로 한다고 하는 「기술협력에 관한 협정(위인 협정)」이 1991년 7월에 체결되었다. 또 대다수의 TC에서는 투표권이 있는 P멤버의 과반수를 CEN의 가입국이 점유하고 있고, CEN 멤버의 주도하에 ISO규격이 책정되고 있다. 예를 들면, TC71의 SCI(콘크리트시험법에 관한 분과위원회)에서는 P멤버 18개국 중 11개국이 CEN의 멤버이다. 결국 빈 협정과 TC멤버의 다수가 CEN 멤버인 것에 따라서, EN의 내용이 ISO규격으로 제정되기 쉬운 상태에 있다. 즉, EN의 상당부분이 2000년부터 2003년에 승인될 예정이고, 금후 이들 규격이 ISO규격으로 제안될 것이 예상된다. ISO에서는 구조물 설계의 기본 규격으로 한계상태설계법을 도입하는 것으로 결정되어지고 있다. 이러한 ISO규격이 도입되는 경우 발생하는 문제점들은 구체적으로 다음과 같다.

(1) 시험방법이 변경된 경우, 신·구 시험 결과가 일관성이 부족하고, 종래 데이터의 신뢰성이 상실된다. 또, 시험장비의 새로운 구입이나 개량의 필요성이 나타난다.
(2) 국내에서 독자적으로 축적된 기술이 이용될 수 없게 되고, 기술표준의 개정이 필요하게 된다. 또 이에 따라 각종 프로그램, 설계자료 등의 수정이 발생하기 때문에 비용면에서도 매우 불리하게 된다.
(3) 기술적 진보에 역행하는 규격이 제정될 가능성이 있다.

따라서, 향후 우리나라 구조물의 설계기준의 효율적인 개정방향을 정하기 위해서는 현재 세계 주요국가의 설계기준의 개념과 설계이론을 비교 및 분석하여 차이점을 고찰하는 것이 중요하다. 또한 국제표준이 급속히 변화하는 상황이므로, 차후 국제표준에 대응하기 위해서는 격변하는 시대적 정세에 신속히 대응할 필요가 있다.

나. 외국의 성능설계 동향[12)]

(1) 미국

(가) 개요

하중저항계수설계법(LRFD) 설계법은 미국이나 북미에서 사용되는 대표적인 설계법이다. 미국 설계과정의 변천과정을 살펴보면 1931~1971년 허용응력설계법(WSD), 1971 ~ 2007년 하중계수 설계법(LFD) 그리고 2007년 이후 하중 저항계수 설계법(LRFD)순으로 발전해 왔다. 이미 오래전부터 구조공학 분야에서는 LRFD이 적용되고 있으며 이는 지반공학분야에서의 LRFD의 적용을 촉진시키는 요인으로 작용하였다. AASHTO는 1994년 LRFD설계법을 채택하였으며 2002년에 하중저항계수에 대한 지침서를 출간하였다.

미 도로국(FHWA)의 경우, 교량기초 설계시 2004년 기준으로 약 23개 주에서는 LRFD를 부분적으로 적용하였으나 2007년까지 모든 주에서 교량설계시 LRFD를 적용토록 지침을 정하였다. 미국의 경우, 빌딩, 교량, 도로 등과 같은 일반적인 토목구조물들이 규정된 코드를 이용하여 설계되고 수많은 하부 구조물들이 절차에 따라 시공된다. 이들 시설물들의 성능에 대한 보증기간은 보통 1년이거나 없는 경우가 많다. 또한, 종종 운영, 유지, 그리고 관리가 설계나 시공과 별개로 다루어지거나 상호간에 연관성 없이 다루어지는 경우가 많이 있다.

표 2.31 성능설계와 상세규정의 비교

성능설계	시방규정
극한하중이 재하되는 경우, 구조적 파괴에 대해 저항할 수 있는 허용수준	직경 1/2인치볼트를 6인치 간격으로 배치해야 외벽의 wood sill(문지방)을 기초에 고정시킬 수 있다.

(나) 시방기준의 변천사

- 1916: Report on Recommended Practice and Standard Specifications for Concrete and Reinforced Concrete (by ACI, American Institute of Architects, American Railway Engineering Association, ASCE, ASTM)

12) Ovesen, N. K.(1989), General Report, session 30, Codes and Standards, Proc. ICSMFE, RiodeJaneiro

- 1926: First AISC Steel Construction Manual
- 1927: First earthquake provisions for design in the UBC
- 1931: First Standard Specifications for Highway Bridges by AASHO
- *1976: Unified Standard Code of Practice for Structures, by the Inter-Association Joint Committee for Safety of Structures in Europe*
- 1978: ATC 3-06 "Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings"
- 1986: First AISC Steel Construction Manual based on LRFD
- 1987: ATC-14 "Evaluating the Seismic Resistance of Existing Buildings"
- 1994 AASHTO LRFD Bridge Design Specifications
- 1994 Report to CALTRANS by the Seismic Advisory Board "The Continuing Challenge- The Northridge Earthquake of January 17"

LRFD 시방기준은 다음의 한계상태에 상응하는 여러 가지 하중조합들에 대한 조사가 요구된다.

- 사용한계 상태(Service Limit State)
- 피로 및 파괴한계상태(Fatigue & Fracture Limit State)
- 강도한계상태(Strength Limit State)
- 시공성(Constructability)
- 극한한계상태(Extreme Event Limit State)

AASHTO 하중저항 설계법은 폭넓은 다양한 구조물들의 보다 균등한 안전율과 신뢰성을 확보하는데 있다.

- 구조 요소들 거동의 다양성을 나타낼 수 있지만 교량 설계자들에 의해 이용될 수 있는 형태로 결과들을 제시하여야 한다.
- AASHTO 표준 시방에서의 격차와 불이치를 제거해야 한다.
- 최신의 교량 연구결과들을 반영한다.

그리고 1993년 AASHTO의해 채택이 되었고, 1994년 설계 시방기준 1판 출판이 출간된 이래 1998년 실계 기준 2판 및 시공기준 1판 출간과 2004년 설계기준 3판이 출판되었으며 2007년 모든 기관에서 LRFD 설계 기법을 채택하고 있다.

(2) 일본

일본에서는 이미 10여 년 전에 건설분야에 성능설계가 도입 되었다. 새로운 설계

개념이 일본의 설계코드로 채택됨에 따라서 최적의 비용으로 생산된 공공토목 공사에 대한 성능과 질이 주요 관심사로 떠오르고 있다. 2004년 일본에서는 제방, 매립지반, 댐등의 구조물에 대한 성능기반설계기법의 적용성을 검증하기 위한 위원회가 조직되었으며 위원회에는 3개의 소위원회를 두고 있다.

- WG(Working Group)1 : 토질 구조물의 지반설계 코드에 대한 연구
- WG 2 : 토질 구조물의 성능평가 방법 연구
- WG 3 : 토질 구조물의 성능기반설계 위한 조사 시스템

이들 위원회는 정부, 대학, 컨설턴트 및 계약당사자등 약 30여명 이상의 연구원으로 이루어져 있다. 2005년 4월, 공공 토목공사의 품질보증에 대한 법규들은 품질보증법령의 영향을 받도록 하였다. 법령들은 공공 토목공사의 계획과 품질을 확실하게 하기 위하여 계약자의 가격과 전문기술이 결합된 전반적인 평가에 근거하여 공공성 획득하는 방향으로 진행되고 있다. 새로운 제도의 하에서 다음의 항목들을 고려하고 있다.

1) 입찰시마다 입찰자들의 기술적인 능력이 조사되어야 한다.
2) 민간부문에서 제안된 기술의 채택은 고려되어야 한다.
3) 기술적 제안의 효과적인 이용, 상호간의 대화, 제안에 근거한 최고가격의 평가 같은 필요한 조치는 반드시 고려되어야 한다.

새로운 시스템에서는 설계자와 계약자들은 최소의 비용과 위험으로 구조물이 "요구된 성능"에 도달하도록 노력을 하도록 되어 있다.

현재 일본에서 채택되고 있는 새로운 제도는 다음과 같다.

① 설계-시공시스템(Design-Build System) : 기본적으로 설계와 시공이 별개의 회사에 의해서 이루어진다. 그러나 설계-시공 일괄 시스템이 적용되고 있는 경우도 있다.

② 가치공학 시스템(Value Engineering System) : 이 시스템은 비용을 줄이면서 프로젝트의 질을 향상시키는데 그 목적이 있으며 입찰단계나 입찰이후단계에서 채택이 될 수 있다. 계약이후 VE단계에서 VE에 의해 절약된 비용의 반은 계약자에게 돌려진다.

③ 통합 평가시스템의 기술적 제안(Technical Proposal Integrated Evaluation System) : 이 시스템에서, 공기업 발주 담당자들은 특별한 공공 토목 공사에 대한 가격 입찰뿐 아니라 기술 제안서를 제출할 것을 요구한다. 이후 발주자들은

가격과 기술적인 제안사항들을 고려하여 각각 입찰서를 평가한 후 품질, 공정계획, 설계 그리고 시공에 대한 안정성 등의 요소를 재검토한다.

④ 요구성능 주문시스템(Performance Requirement Ordering System) : 시스템은 1998년 이후 포장공사를 위해 도입되었다. 최대 교통 소음은 "요구성능"으로 규정된다. 또한, 공사 완료 1년 후의 포장성능에 대해 규정된다.

⑤ PFI(Private Finance Initiative) : 1999년에 일본에서 PFI 법령이 제정된 이후 7년 이후 2005년 9월까지 212개 이상의 프로젝트가 PFI 법령에 의해 이행되었다.

특히, 일본의 경우, 1997년부터 일본지반공학회 주도로 연구를 지속하여 최근에 지반분야의 성능설계 기준인 Geocode 21(Principles for Foundation Designs Grounded on a Performance-based Design Concept)을 발간하였다. 다음 그림에서 Geocode 21에서 제시된 성능설계에 대한 개요를 보여주고 있다.

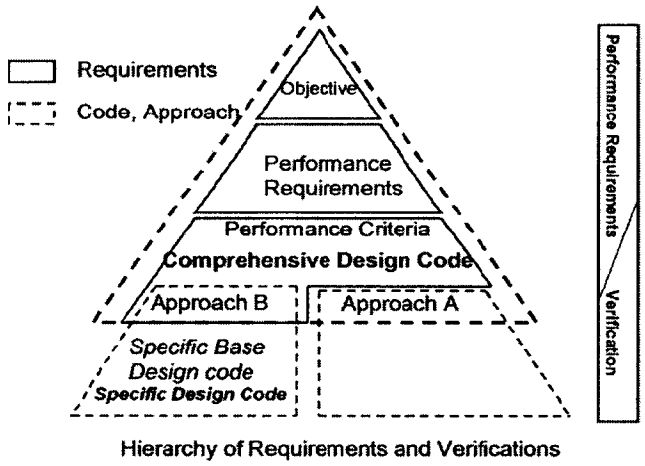


그림 2.20 Geocode 21의 성능설계 개념

(3) 유럽

(가) 영국

유로코드는 지난 20여 년 간 개발된 구조설계를 위한 유럽지역의 코드를 모아놓은 것이다. 향후 2010년까지는 현재 빌딩이나 토목설계에 적용되고 있는 BS(British Standard)기준을 효과적으로 대신 할 수 있는 설계법이 될 것이다. 영국의 경우, 작은 지방정부에서는 근무하는 기술자의 수가 작기 때문에 컨설팅 엔지니어가 중요한 역할을 담당하고 있다. 시공사가 자체 설계능력을 가지고 있는 경우, 시공사 자체로 설계-시공계약을 할 수 있다. 그렇지 않은 경우, 컨설팅 회사나 협력회사와 계약을

맺어 이행할 수 가 있다. 때때로 발주자, 컨설턴트, 그리고 시공자 사이에 협력계약을 맺기도 한다. 특히, BS기준에는 융통성 있는 부분이 있기 때문에 컨설팅 기술자가 함께 할 수 있는 여지가 충분하다. 전통적인 방법, 설계-시공 계약들, 초기 계약자 관련 계약들, 그리고 설계, 시공, 금융 & 운영(DBFO)계약들은 영국에서 이루어지는 계약들의 주요한 유형이다. 문제가 발생하는 경우, 이를 해결하기 위한 막대한 시간과 돈이 소요되기 때문에 성능기반 설계 또는 설계-시공 시스템에서는 변호사들이 훨씬 바빠졌다. 설계자들은 전문가 보장보험에 의해서 보증이 되며 할증금들은 독일보다 훨씬 비싸다. 아래 표는 영국에서 발주자, 설계자, 시공자들 간에 위험을 분배하는 예다. 아래 그림에서 알 수 있듯이 전통적인 설계법에서 DBFO(Design, build, finance & operate)로 갈수록 유연성은 증가하지만 계약자의 위험도 증가한다. 컨설턴트는 설계 검토자뿐 아니라 고용주의 대래인 역할을 할 수가 있어 영국에서 컨설턴트가 차지하고 있는 중요성을 알 수 있다.

표 2.32 각 계약형식에 따른 위험 분배 형식

▲ 전통적 □ 설계-시공일괄 ● 설계-시공-금융-운영	발주자	설계자 1 (발주자를 위한 기본설계)	설계자 2 (계약자를 위한 세부설계)	계약자
재원융통	▲▲▲▲ □□□□ ●			●●●
요구사항 지정	▲▲▲ □□□ ●●	▲ □		●●
영구적 과업설계		▲▲▲▲ □□ 아웃라인 ● 아웃라인	□□ 세부 ●●● 세부	
시공방법			▲ □ ●	▲▲▲ □□□ ●●●
유지관리	▲▲▲ □□□ ●			▲ □ ●●● 용인
운영	▲▲▲▲ □□□□ ●			●●● 용인
설계 리스크	▲▲▲ □ ●	▲	□ ●	□□□ ●●●
시공 리스크	▲▲ □			▲▲ □□□ ●●●●

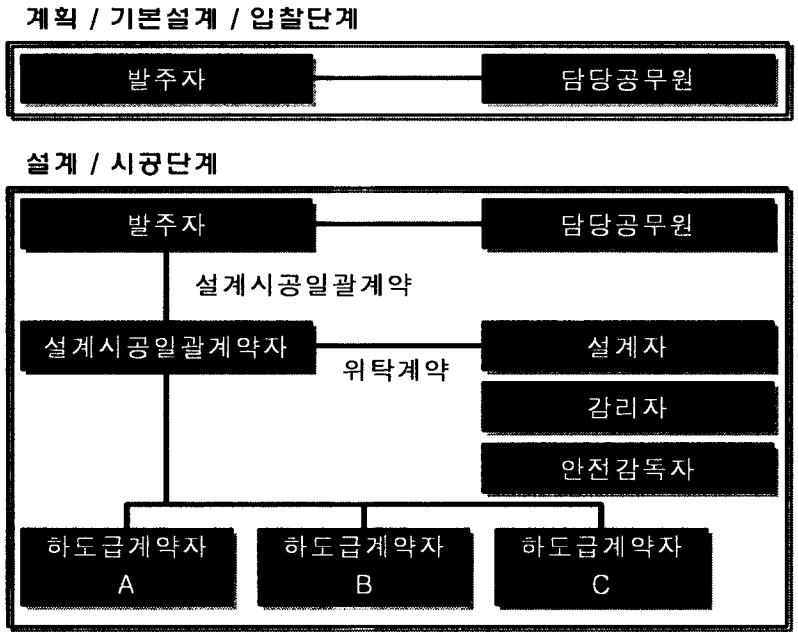


그림 2.21 발주자, 설계시공 일괄계약자 및 감리자의 관계

(나) 프랑스

영국과 프랑스는 다른 유럽 국가들에 비해 중앙행정시스템이 강하다. 프랑스에서는 정부의 역할이 감소하고 있는 추세이며 설계자들은 일반적으로 발주자 또는 계약자에 속한다. 그리고 개별 설계자들은 보험 계약이 되지 않는 대신에 회사들이 보험에 가입한다. 각각의 기술적인 업무에 대한 책임소재가 명확하게 규정된다. 그러나 모든 사람들이 책임을 피하려고 하는 문제점을 가지고 있다. 건설시스템이 무엇이든지, 발주자, 설계자, 그리고 계약자 사이에 정보를 공유하는 것을 매우 중요하게 생각하고 있다.

(다) 독일

발주자는 기본설계를 담당하고 시공자들은 상세설계를 담당한다. 설계의 검증진행 과정에서 독립적인 존재인 설계검토자들이 중요한 역할을 한다. DIN에서는 어떠한 임의적 해석들도 허락하지 않는다. 그리고 ~해야 한다(Should be)와 같은 용어를 사용하지 않는다. 그렇다고 DIN이 보수적 성향만 고집하지는 않으며 유연성 있고 경쟁적 있는 설계를 사용할 수 있도록 해준다. DIN에 의한 설계는 설계보험의 관점에서 볼 때 중요하다. 설계자들이 DIN 표준을 벗어나서 설계를 하는 경우에는 보다 많은 위험을 감수해야 한다. 보험회사는 설계자들보다는 조직을 보호하려는 성향이 있으며 발주자나 계약자들 사이에서 법적소송이 발생하는 경우, 컨설턴트에게 잘잘못에 대한 판단을 의뢰한다. 만약 소송에서 지는 경우 보험에서 지불해 주

지 않기 때문에 막대한 재정적 손실이 발생한다.

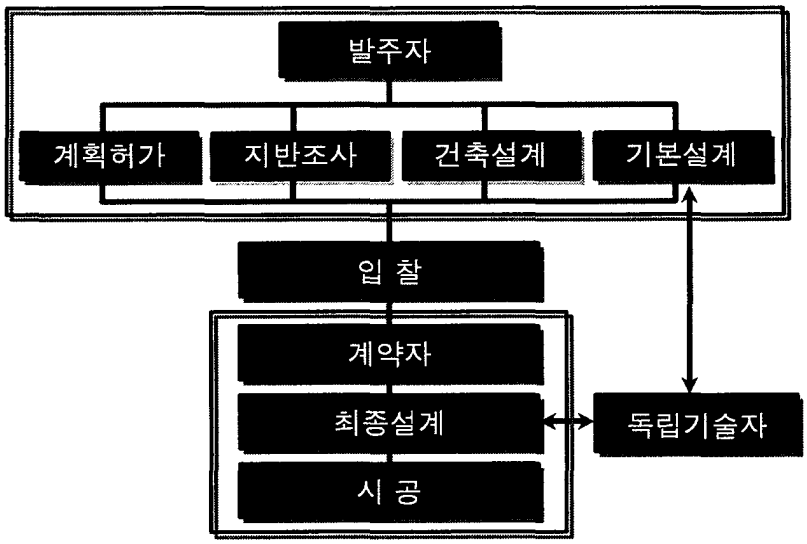


그림 2.22 독일의 시스템

앞 그림은 독일에서의 발주자와 계약자 사이의 전형적인 관계를 보여주고 있다. 발주처들이 기본설계를 담당하고 주 계약자들은 마지막 상세한 설계를 담당한다. 예비설계와 상세설계는 독립적인 기술자에 의해 검토가 된다. 이러한 독립적인 검토자들은 주정부에 의해서 지명이 되며 대략 50여 명으로 구성되어 있다.

4. 도로부대시설 분야 국외 기술개발 현황

국내에서와 마찬가지로 국외에서도 도로부대시설분야에 성능기준을 도입하여 적용하고 있으며 주로 미국, 유럽 등에서 성능기준을 활발하게 도입하고 있다.

국외의 도로부대시설분야 성능기준들은 차량방호안전시설 성능기준, 도로표지, 노면표시, 시선유도시설, 시인성 증진시설 등의 반사성능기준 등으로 국내기준과 비슷한 수준으로 성능기준을 적용하고 있다.

미국의 경우 NCHRP Report 350 "Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluations of Highway Features"을 마련하여 충돌시험을 통한 안전시설의 성능 평가에 필요한 차량의 중량, 충돌 각도, 충돌 속도를 제시하였다. NCHRP Report 350은 평가의 절대적인 기준이 아닌 지침을 제시하고, 이것을 기준으로 받아들일 것인가는 연방 혹은 주정부 도로국의 결정 사항으로 하고 있는 것이

법적 지위로서의 특징이다. 또한 NCHRP Report 350은 안전시설 종류 혹은 등급의 선택, 설치의 필요 위치를 절대적으로 규정하지 않고 AASHTO나 FHWA 같은 기구가 지침에 따라 시설물 평가 적용에 대한 결정을 할 수 있도록 하고 있다. NCHRP Report 350은 기술적 진보, 시방서의 변화, 차량의 변화 등을 반영하기 위해 NCHRP Project 22-14, "Improvement of Procedures for the Safety-Performance Evaluation of Roadside Features"의 연구를 통해 1, 2차에 걸쳐 수정되고 있다.

표지병의 경우 Standard Specification for Extended Life Type, Nonplowable, Raised Retroreflective Pavement Markers(ASTM D 4280)에서 제시한 반사성능을 적용하였고 반사지의 반사성능도 Standard Specification for Retroreflective Sheeting for Traffic Control(ASTM D 4956)에서 제시한 값을 적용하고 있다.

CEN(European Committee for Normalization)은 도로시설부분을 "Road restraint system(crash cushion, safety barriers)"과 "Pedestrian way system" 분야로 나누고, 도로시설물의 '충돌시험 조건 및 평가 기준'을 정하고 이로부터 성능 등급(Performance Levels)을 정하였다. 총6개 part로 구성된 CEN Standard의 Part 1은 "Terminology and General Criteria for Test Methods" 로 용어, 충돌 차량의 상세, 약어에 대한 설명, 탑승자 안전과 관련된 각종 지수(ASI, THIV, PHD, OIV, ORA, VCDI, CIDI)의 설명 및 계산 방법과 보고서 작성 요령에 대하여 기술하였다. Part 2는 방호울타리의 성능 수준, 충돌시험 통과 기준, 시험 방법에 대하여, Part 3는 충격흡수시설에 대하여, Part 4는 단부처리와 시행에 대하여, Part 5는 안전시설을 구성하는 각종 재료의 내구성과 품질을 확보하기 위한 규격을, Part 6은 보행자용 난간에 대하여 기술하고 있으나 이는 폐지되었다.

방호안전시설 뿐 아니라 도로조명에 관해서도 2003년에서 2004년 사이에 성능기준을 정립하였다. CEN EN 13201 Road lighting의 Part 1 Selection of lighting classes는 속도와 도로이용자 유형 등을 고려하여 조명시설을 선택하고 Part 2 Performance requirements는 Part 1에서 선택한 조명시설 등급에 따른 성능기준을 제시한다. Part3 Calculation of performance는 도로 조명 성능을 정해진 절차에 따라 계산하는 방법을 설명하고 Part 4 Method of measuring the light performance of installations는 설치된 조명시설의 성능기준 측정방법을 서술한다.

Road marking materials - Retroreflecting road studs(BS EN 1463)는 Part 1에

서 초기 성능기준을, Part 2에서 성능기준 평가방법을 기술하여 표지병의 성능기준을 제시하고 있다.

5. 터널분야 국외 기술개발 현황

국외의 경우는 터널 구조체에 요구되는 성능에 대하여 다양한 측면에서 성능기준을 마련하고 있으며, 안전성 측면에서 성능조건에 대한 연구 및 고찰이 과거에서부터 수행해 왔고 최근에는 사용성 측면에서 성능기준에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 내용을 살펴보면 유럽연합소속인 프랑스의 경우 구조물의 사용자에게 주택성능평가의 결과를 제공하는 Qualitel제도를 1986년부터 실시하고 있으며, 노르웨이, 스페인 등은 국가 차원의 설계기준으로 성능기준형 설계기준을 채택하고 있으며, 이웃 일본의 경우 2000년 건축기준법을 개정하여 설계단계에 성능을 평가하는 설계주택성능평가를 수행하도록 하여, 콘크리트 구조물 설계기준이 성능 평가형 규정으로 전환되도록 하였으며, 향후 레미콘의 발주에 있어서도 설계기준강도, 슬럼프, 굵은 골재 최대치수 등을 표시한 사양발주가 아닌 성능발주라는 새로운 개념의 발주시스템으로 변화할 것으로 예측되고 있다. 향후 약 5년 후부터는 고강도, 고성능, 고내구성 콘크리트가 콘크리트 산업을 주도할 전망이고, 이러한 새로운 콘크리트 구조물의 설계와 시공을 위해서는 현재와는 전혀 다른 개념의 차세대 콘크리트 기준으로 성능중심의 시멘트 제조, 콘크리트 제조, 콘크리트구조 설계기법과 콘크리트 표준시방서가 필요한 실정이다.

특히 일본의 경우를 자세히 살펴보면 최근 쉴드, 개착 및 산악터널 시방서가 10년 만에 개정된 바 있다. 그 주요 내용은 사회정세의 변화에 대응해서 설계 합리화 기법이나 유지관리에 관련된 사항 등이 증강되었다.

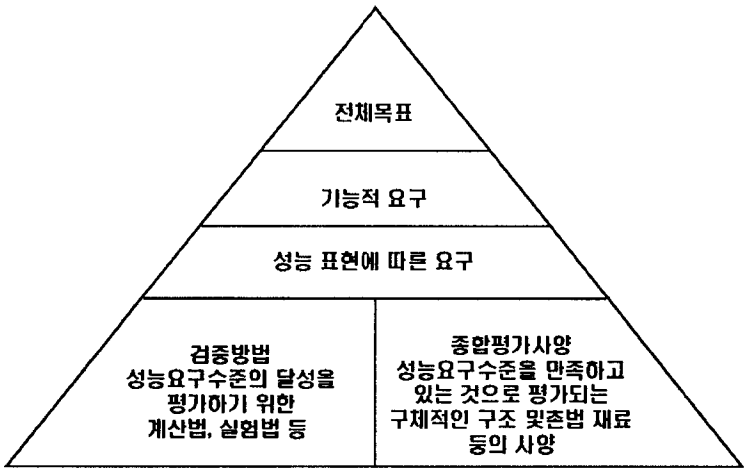


그림 2.23 NKB Level System (NKB 레벨의 계층도)

표 2.33 여러 외국의 설계기준에 따른 성능설계의 기술의 계층

	노르웨이	영국	호주	캐나다	뉴질랜드
목적	○	○	○	○	○
기능적 요구	○	○	○	○	○
성능의 요구 수준	○	△	○	규정 없음	○
검증 방법	△	△	△	규정 없음	△
적합 평가 사양	△	△	○	△	△

○ : 법적 구속력 있음 △ : 법적 구속력 없음

가. 성능설계의 과정

성능설계의 정의는 현시점에서는 분명하게 확립되어있는 것은 아니지만, 계략적으로, 설계된 구조물이 보유하는 성능이 요구 성능만 만족하고 있다면 어떠한 구조형식이나 구조재료, 구조해석수법, 가설공법을 사용하여도 좋은 설계법이라고 말할 수 있을 것이다. 성능설계가 도입되면, ①신재료나 신공법, 신구조해석수법의 도입 등 설계자의 창의성을 십이분 발휘할 수 있다. 그 결과로, ②공기단축 · 건설코스트 축감감축을 기대할 수 있다. ③실제로 설계되어 가설된 구조물이 어떠한 성능을 보유하고 있는가를 설계자는 물론이고 발주자 측에서도, 그리고 이를 이용하는 측에서도 알 수가 있다. ④발주하는 측은 구조물의 라이프사이클(life-cycle)을 통해 어떠한 성능을 확보하는 것이 최적인가를 코스트나 환경부하 등의 관점에서부터 고려

하면서 선택할 수가 있다.

단, ① 요구성능수준을 어떠한 방법으로 산출하여 어떠한 값으로 하면 좋은지를, ② 설계된 구조물이 보유하는 성능을 여가로 어떻게 평가검정 할 것인가, ③ 라이프사이클코스트(life-cycle cost)의 평가나 라이프사이클어날리시스(life-cycle analysis)를 여가로 하여 어떻게 합리적으로 실시할 것인가는 매우 어려운 문제이다. ④ 요구성능수준(level of required performance)의 설정이나 검정(verification)을 누가 시행할 것인가, ⑤ 성능설계를 수용할 수 있는 사회체제 (입찰 · 계약제도, 리스크관리 · 정보공개제도, 보험제도 등)가 충분히 조성되어 있는지에 관해서는 사회적인 제도를 필요로 하는 과제이고, 이들의 과제 극복은 쉽지 않다. 따라서 기술의 적절한 평가시스템을 확립하는 것이 성능설계도입의 대전제라 하겠다.

그리고 구조물의 설계에 확률론적인 개념을 도입하는 신뢰성설계(reliability-based design method)와 성능설계의 관련에 대해서는 이하에서 생각하는 것이 적절하다. 성능설계를 행하는 경우의 요구 성능 수준이 설정에 대해서는 어떠한 크기 · 발생빈도의 하중을 설계로 상정하여 고려할 것인가, 또한, 이 설계하중에 대해 한계상태에 도달할 가능성의 정도를 예측하여 구조물 설계시 정량적으로 표현하는 것, 나아가 설계한 구조물이 보유하는 성능수준이 어느 정도인지를 구체적인 수치로 표시하는 것이 가장 바람직하다. 이들을 가능하게 하는 것이 신뢰성설계이고, 궁극의 성능설계는 신뢰성설계 그 자체라고 생각하는 것이 타당할 것이다. ISO에서 종국극한한계상태(ultimate limit state) 및 사용한계상태(serviceability limit state)를 대상으로 한 신뢰성이론에 기반하는 부분안전계수방식(load and resistance factor design method)의 성능설계를 추장(抽奬)도입한ISO2394 General principles on reliability for structures [1998]가 발행되었고, 세계 각국에서는 이후 이것을 목표로 설계규준이 개정되어질 것으로 생각된다. 단, 현시점에서는 토목구조물이 한계상태에 도달할 때까지의 거동을 정확하게 파악하는 것, 그리고 토목구조물에 작용하는 각종 하중을 정확하게 추정하는 것이 어려운 실정이다.

그런데, 한편「구조물의 구성부재 중에서 손상되는 부재를 제어하여 구조계 전체의 성능을 높이는 설계법」, 조금 더 구체적으로 기술하면, 「강도가 낮은 부재의 에너지흡수성능을 높임으로써 구조계 전체의 에너지흡수성능을 합리적으로 향상시키는 설계법」으로 Capacity · Design (손상제어설계) 이 있으나, 이 설계법은 성능설계의 일부, 곧 성능을 확보하기 위한 하나의 접근방법이라 할 수 있다.

(1) 지반공학에서의 신뢰성설계이론

1970년대는 지반공학 분야에서 신뢰성설계이론에 대한 활발한 연구가 진행된 시기이었다. Lumb(1974)의 확률과정을 이용한 선견적 모델화, Matsuo, Asaoka(1976)에 의한 연약지반상 성토에 관한 완성도 높은 신뢰성 설계이론, Vanmarcke(1977)에 의한 이동평균 확률장으로서의 지반의 기술 등이 대표적인 연구 성과라 할 수 있다. 그러나 1970년대의 연구 성과에 비하여 이후는 그다지 진전되지 않았다. 또한 위에서 언급한 연구성과도 한정된 경우를 제외하고는 설계업무나 설계코드의 개발로 진전되지 않아, 금후 연구의 진전이 필요하다고 생각된다.

(2) 유럽의 한계상태설계법

Eurocodes는 1960년대 유럽 통일의 토목·건축 구조물의 구조설계 코드로 한계상태설계법을 기본개념으로 강·콘크리트·합성·목재·알루미늄을 재료로 구조물의 설계에 사용하는 것을 의도로 제안되었다. 이 중 지반설계에 관한 것은 Eurocodes 7로 제 1부「지반설계 : 일반원칙」, 제 2부「지반조사와 시험」의 2개의 문서로 구성되어 있다.

Eurocodes의 작성은 1970년부터 시작되어 2010년까지 일련의 문서가 모두 유럽기준화(EN화)될 예정이다. 1970년대에 시작된 한계상태설계법은 이러한 과정의 근간을 이루고 있으며 이것을 이용하여 한 단계 높은 수준의 유럽 설계코드의 통일을 꾀하려는 움직임이 활발히 진행되고 있다.

Eurocodes의 특징과 문제점은 다음과 같다.

㉠ 설계코드의 목적은 하중, 재료특성, 형상치수, 설계계산법 등의 불확실성 사이에서 균형을 유지하고, 필요한 안전성 여유를 구조물 설계에 도입하는 것이다.

그러나 특히 지반설계에 있어서 코드 작성자가 의도한 안전성 여유를 구조물 설계에 도입하기 위해서는 개개 현장마다 지반 파라메타 값을 결정해야 하기 때문에 이 특정값의 결정방법이 표준화 되어야 한다. 표준화 되지 않을 경우 지반조사자나 설계자의 주관적 판단에 의해 도입되는 안전성 여유가 각각 서로 달라지기 때문이며, 이러한 이유로 특성값의 결정방법은 항상 큰 문제가 되고 있다. Eurocode 7에서는 「특성값은 한계상태의 발생에 영향을 미치는 값의 주의 깊은 특성값(cautious estimate)」이라고 정의하고 있지만 이 정의를 둘러싼 서로 다른 의견이 제기되고 있다.

㉡ Eurocode 7의 설계검증형식은 최종적으로 포괄설계코드, 고유기본설계코드, 고유설계코드의 3종류의 다른 형식으로 병기되어 있다. 이것은 최종적으로 주요 국가간에 조정되지 않아 발생한 것이고 이것은 Eurocodes 전체의 체계를 흔드는 결과를 초래하고 있다.

㉢ Eurocodes에서 사용되는 부분계수값은 각국이 NA(National Anmex)에서 독자적으로 정하도록 허용하고 있다. 신뢰성설계이론의 입장에서 이 값은 여러 종류의 불확실성의 밸런스를 고려하고, 실제로 설계된 구조물 조건 등도 감안하여 신뢰성해석에 의해 결정되어야 할 값이다. 그러나 Eurocode 7에 관련해서는 어떠한 나라에서도 이와 같은 조정은 실시되지 않고 있다.

이상과 같이 Eurocode 7은 많은 본질적인 문제점을 가지고 있음에도 불구하고 경제전략적인 측면으로부터 우리나라를 비롯한 세계 각국에 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다.

(3) 미국의 하중저항계수법

유럽의 Eurocodes와는 대조적으로 미국의 설계코드의 관심은 형식적인 통일성이 아닌 실질적인 설계법의 개량을 가장 중요한 목적으로 하고 있다. AASHTO의 도로교시방서의 최근의 하중저항계수법의 변화는 다음과 같다.

AASHTO의 도로교시방서에 하중저항계수설계(LRFD)법의 도입이 결정된 것은 1987년이며, 1994년에 기초구조물의 설계를 포함한 LRFD판의 시방서가 출판되었다. 그러나 각 설계법의 불확실성 평가가 모호하고, 계수의 결정방법에 대하여 불명확한 점 등 많은 문제점을 내포하고 있었다.

그 후 데이터베이스에 근거를 둔 합리적 부분계수의 결정을 신뢰성이론에 의해 실제의 말뚝시공의 실정을 고려한 연구결과가 Paikowsky(2002)에 의해 발표되었다. 이 연구의 특징은 PT/LT 2000으로 불리우는 데이터베이스는 말뚝 수 389개, 현장수 210(대부분이 미국 동부지역)의 데이터를 포함하고 있고, 이것은 모두 항타시의 동적관측데이터와 정적재하시험 결과를 포함하고 있다.

이 연구는 정적재하시험에 의해 추정된 극한 지지력이 항타공식 및 동적관측에 따라 여러 종류의 지지력추정법과 비교하여 각각의 정밀도를 상세히 검토하고 있다. 이 결과에 의해 각각의 조건에 따라 하중과 저항의 양자의 불확실성을 고려한

하중·저항계수가 신뢰성해석(FORM)에 의해 산정되고 있음을 제안하고 있다.

이상과 같이 미국의 설계코드 개발은 데이터베이스와 신뢰성 해석의 조합에 의한 보다 합리적인 하중·저항계수의 결정이라고 하는 실용주의적인 경향이 강하고, 유럽과 같은 개념과 형식의 통일과는 비교된다.

6. 조경분야 국외 기술개발 현황

가. 시방서에 성능기준을 병기하는 방법[13)]

기존의 조경기준에 성능기준을 병기하는 방법은 미국 LOVELAND CITY의 조경기준에서 찾아볼 수 있는데, 주요한 부분을 발췌하여 보면 다음과 같다.

(1) 조경설계 분야

(가) 동선에 관한 성능기준

1) 단지내외부에서 도로, 진입, 주차시설은 자동차와 보행자에게 부드럽고 안전하며 편리하고 기능적으로 움직일 수 있게 하여야 한다.

2) 동선은

가) 보행자와 차량통행의 마찰이 최소화 되도록 하여야 한다.

나) 차량이 회전하거나 부딪히는 지점이 최소화 되도록 하여야 하며 특히 진입부분에서는 더욱 그러하다.

다) 인접한 토지의 동선과는 합리적으로 연결되어야 한다.

라) 응급 및 비상용 차량이 진입할 수 있어야 하며, 주정차에 의하여 응급 및 비상차량의 진입이 저지되지 않아야 한다.

마) 진출입구 지점에서는 질서 있고 안전하며 합리적인 교통흐름이 이루어질 수 있도록 설계되어져야 한다.

(나) 주차시설에 관한 성능기준

1) 주차시설은

가) 주차장 내외부에서 주차시 차량의 후진과 회전이 교통의 흐름을 방해하거나 충돌이 일어나지 않도록 설계되어져야 한다.

---

13) http://www.ci.**loveland**.co.us/WP/water/Conservation/landscape/site_dev_current.pdf 에서 발췌

나) 3대 이상 주차할 수 있는 주차장에서는 주차장 안에서 회전을 할 수 있는 여유가 있어야 하며, 후진에 의하지 않고도 연결도로로 진입할 수 있어야 한다.

다) 표면에 선명한 주차선을 표시하여야 한다.

라) 차량이 미끄러져 주차구역을 벗어나는 것을 방지하기 위한 연석, 바퀴멈춤, 기타 턱 같은 것을 설치하여야 한다.

마) 주차선은 승인된 규격에 따라 설치되어야 한다.

2) 하역 및 적재용 시설은 주차장내에 설치하여야 하며, 하역 및 적재지역에서 공공 도로로 후진하지 않도록 하여야 한다.

3) 주차, 적재, 이동, 주행 지역은 아스팔트, 콘크리트나 이들과 유사한 내구성 있는 재료로 포장되어야 한다.

4) 주차공간을 다른 용도로 개조하고자 할 때는 주차공간이 충분할 때만 가능하다.

(다) 지형변경 및 배수에 관한 성능기준

1) 폭우와 지하수의 적절한 저류와 배출을 위하여 표면 및 심토층 배수체계가 제공되어야 한다.

2) 인접한 대지에 피해를 주지 않도록 배수시설은 설계·시공되어야 한다.

3) 우수 유출수는 건물이나 다른 주요 시설들이 범람수에 의해 피해를 입지 않도록 표면배수시설을 따라 배수되어야 한다.

4) 우수유출수가 모이는 곳에는 단지 내외에서의 토양침식과 침수피해를 방지하기 위하여 영구적인 우수관리설비가 마련되어야 한다.

5) 배수 및 지형변경은 토양침식, 토사유출, 침수, 정체수와 같은 피해를 최소화시킨다.

6) 지피식물을 잘 보전하여 영구적이고 효과적이며 안정적인 배수체계를 설계한다.

(라) 조명에 관한 성능기준

1) 모든 도로, 주차장, 보행로의 조명은 반사용 갓이 부착된 전등을 사용한다.

2) 모든 외부용 투광기는 반사용 갓이 것을 사용한다.

3) 공공 도로에서 차량의 안전한 흐름을 방해하는 직사나 반사광선을 배출하는 조명기구가 되지 않도록 설계하여야 한다.

가) 차량의 운전자를 방해할 수 있는 광선을 배출하지 않도록 조명기구를 설계하여야 한다.

나) 조명등은 교통신호장치로 오인하지 않도록 설계되어져야 한다.

다) 휴일의 일시적인 장식을 제외하고는 조명등이 움직이거나 번쩍이거나 밝기가 바뀌지 않도록 하여야 한다.

4) 조명기구는 주차나 차량의 후진, 보행자나 차량의 흐름을 방해하지 않아야 한다.

(2) 조경식재설계 분야

(가) 목적

1) 주요 간선 및 지선도로로 부터의 양호한 시각적 경관 창출

2) 보도 옆의 완충녹지의 개선과 주차장과 빌딩 및 상충되는 토지용간의 차폐를 통한 부지의 경관적 가치를 보호 및 개선한다..

3) 활엽수의 수관을 이용한 거리의 수목의 띠를 창출한다.

4) 공기를 정화하고 토양을 보전하며 먼지와 오물이 날리는 것을 방지하기 위한 조경소재를 사용한다.

5) 에너지를 절감하고, 수자원을 함양할 수 있도록 의도적으로 조경소재를 배치한다.

6) 토양침식과 침수현상을 경감시키고, 그늘을 제공하며, 지역사회의 매력을 향상시키는 식생군락을 보전하고 대체하는 것에 의하여 시민들의 건강과 안전 및 복지를 향상시킨다.

7) 서로 상충되는 용도의 공간이 인접하여 생기는 역효과를 완충녹지에 의하여 완화시킨다.

8) 개발지역의 향토식물, 희귀수목, 식생군락을 보전하고, 개발에 의하여 제거되는 향초식물과 수목을 복원시킨다.

(나) 일반적인 성능기준과 지침

1) 조경소재에 대한 성능기준

가) 모든 조경소재는 단지개발 기준과 지침에 따라 시재되어야 하며, 건강하고 지역의 기후와 단지 내의 토양, 배수 및 관수 특성에 적응할 수 있어

야 한다.

나) 식물소재의 품질과 규격은 조경수협회의 규정에 따라야 한다.

2) 조경소재에 대한 일반적인 지침

가) 교목과 관목의 식재당시 최소규격은 식물소재 선발지침을 따라야 한다.

① 성목의 수고가 9m이상이 되는 활엽수의 식재규격은 근원직경 5㎝ 이상이어야 한다. (근원직경은 지표면 위 15㎝에서 측정한다.)

② 성목의 수고가 9m이하인 활엽수의 식재규격은 근원직경 3㎝ 이상이어야 한다.

③ 침엽수의 수고는 1.8m 이상이어야 한다.

④ 관목의 규격은 20ℓ 이상의 화분에 식재된 것이어야 한다.

나) 모든 조경지역의 75%는 살아있는 지피식물로 피복되어야 한다. 추천된 지피식물은 식재된 지 3년 이내이어야 한다.

다) 양호한 재료의 멀칭을 장려한다. 멀칭은 뿌리 주변에 수분이 모여 있도록 깊이 8㎝를 유지하도록 한다.

라) 수분 요구량이 적은 식물소재를 사용한다. 물 절약형 조경을 위해서는 다음과 같은 것들이 필요하다.

① 가뭄에 잘 견딜 수 있는 식물소재를 사용한다.

② 적절한 관수시설을 하고 자연수분의 소모가 적게 일어나도록 설계한다.

③ 이용이 많은 지역이 아닐 때는 서양잔디의 사용을 제한한다.

3) 수고와 식재위치에 대한 성능기준

가) 수목들은 충분한 크기로 자랄 수 있는 공간에 식재되어야 한다.

나) 소화전으로의 접근과 시계는 어느 방향으로도 확보되어야 한다.

4) 수고와 식재위치에 대한 일반적 지침

가) 높이가 15㎝ 이상으로 자랄 수 있는 식물은 소화전으로부터 90㎝ 이내에 식재되지 않아야 한다.

(5) 기존 식물에 대한 성능기준

가) 자연배수지역 이나 개발되지 않을 지역에 서식하고 있는 가치있는 관목, 초본류, 수목들은 보존되어야 한다.

나) 건강하게 성숙한 수목, 천이에 의하여 노령목의 후계목으로 생장하고 있는 어린 식물은 보존되어야 한다. 쇠약하거나 병약한 수목과 수명이 다

된 수목 들은 보존하지 않는다.

다) 유해한 식물이나 잡초는 공사 중이나 공사 후 제거한다.

(6) 기존 식물에 대한 일반적 지침

가) 건물이 들어서거나 타용도로 개발되는 지역에서 별다른 대안이 없을 경우에는 수목과 식물들은 제거되겠지만, 개발에 의하여 가치있는 수목들이 제거된다면 새로운 수목들로 이를 대체하여야 한다.

(3) 조경관리 분야

조경관리 분야의 성능기준은 조경관리를 위한 기계, 장비를 선택하고 준비할 수 있도록 하기 위함이고, 잔디나 도로 가장자리의 화단을 유지관리하고, 외부공간의 식재지역에 대한 재배, 시비, 잡초방제 등을 통한 교목, 관목 및 산울타리의 유지관리를 하기 위함이다.

(가) 조경관리용 기계, 장비의 선택과 준비

성능기준 1: 선택된 기계, 장비는 수행될 작업에 적절하여야 한다.

(범위: 잔디까기, 트리머, 경운기, 산울타리 전정기, 삽, 퍼크, 농약비료살포

성능기준 2: 기계 장비는 사용하기 전에 손상, 마모, 결함 등이 있는지 점검하여야 한다. 문제점이 발견되면 제조사의 지시에 따라 교정작업을 수행한다.

(나) 잔디밭과 도로 가장자리 화단의 관리

성능기준 1: 잔디는 일정한 높이로 자른다 ; 잔디에 손상을 최소화시킬 수 있는 높이 한다. ; 장비와 다른 식물이나 구조물에 손상을 주지 않도록 잘라야 한다. ; 사용자용 설명서에 따라 시행한다.

성능기준 2: 잘나낸 잔디는 골고루 펴지도록 하거나 모아서 제거하도록 한다.

성능기준 3: 비료의 시용은 생산자의 설명서나 사용자용 설명서에 따른다.

성능기준 4: 가장자리는 사용자의 설명서에 규정된 경계선을 따라 자른다.

성능기준 5: 안전장비와 덮게는 생산자의 설명서에 따라 씌운다.

(다) 식재지역의 경운과 시비 및 잡초 방제

성능기준 1: 잡초방제 방법은 가장 효율적인 방법을 선택하고 인접 식물이나 환경에 역효과를 최소화하도록 한다. (범위: 인력제초, 기계제초, 제초제)

성능기준 2: 제초제를 사용할 경우는 NZS8409를 따른다.

성능기준 3: 잡초방제와 제거는 사용자의 설명서에 따른다.

성능기준 4. 식재지는 잡초나 바람직하지 않은 식물이 남아 있지 않도록 하여야 하며, 바람직한 식물들에게 해를 끼치지 않도록 유지관리 되어야 한다.

성능기준 5: 비료의 시용은 생산자의 설명서나 사용자용 설명서에 따른다.

(라) 교목, 관목, 산울타리의 유지관리

성능기준 1: 교목과 관목은 바람직한 형태를 유지할 수 있도록 전지 전정되어야 한다.

성능기준 2: 산울타리는 편평하고 일직선으로 전정되고, 바람직한 형태를 유지하여야 한다.

성능기준 3: 전지, 전정 잔해물은 사용자 시방에 따라 처리되어야 한다.

성능기준 4: 전지 전정은 잔디밭, 다른 식물들과 구조물에 손상을 입히지 않도록 수행되어야 하며, 작업원이나 사람들에게 위험이나 상해를 입히지 않도록 수행되어야 한다.

성능기준 5: 안전장비와 덮게는 생산자의 설명서에 따라 씌운다.

(마) 관리용 기계 장비의 유지관리

성능기준 1: 조경관리용 기계 장비는 제조업자의 지침에 따라 보관되어야 한다.

성능기준 2: 조경관리용 기계 장비의 손상, 닳음, 결함은 주기적으로 점검되어야 하고 제조업자의 지침에 따라 교체, 수리, 기록되어야 한다.

(범위: 손망실, 구부러짐, 마모, 부러짐, 부품, 호스의 손상)

성능기준 3: 작업용 표면은 깨끗하게 유지되어야 하고, 제조업체의 설명서에 따라, 오일이나 그리스 칠을 하여야 한다.

성능기준 4: 조경관리용 기계 장비는 제조업체의 설명서에 따라 윤활유를 주입하여야 한다.

나. 시험시공에 의한 환경성능평가

일본의 효고현(兵庫縣)에서는 도시열섬현상을 완화하고, 도시녹지면적을 확대하기 위한 사업의 일환으로 잔디주차장을 설치하고 있으며, 잔디주차장의 시공업체를 선정하기 위하여 시험시공 후 환경성능평가를 시행하고 있다

(1) 잔디주차장 환경성능평가[14)]

(가) 시험시공

시험시공에 참여하는 업체로 구성되는 잔디주차장 추진사업 협의회가 각 회사별 시공위치, 시공기간 조정, 관수조건, 주민상대의 공사설명회 개최 등을 협의한다. 시험시공기간은 3년으로 하고 있으며, 효고현에 설치된 잔디주차장 추진사업 효과검증위원회가 제품의 성능과 도시열섬저감효과 등을 종합적으로 검증한다. 잔디주차장 추진사업의 순서는 다음 그림과 같다.

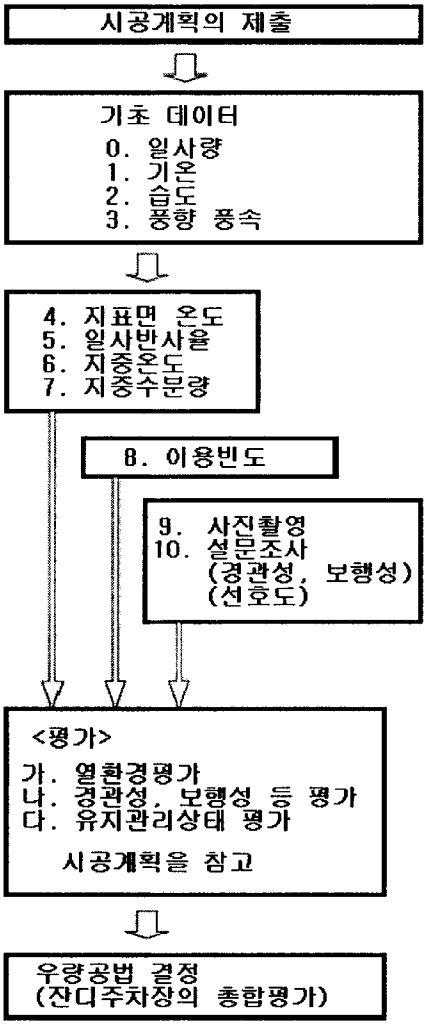


그림 2.24 잔디주차장 추진사업 순서

자료: http//web.pref.hyogo.jp/contents/000019338.pdf

14) http//web.pref.hyogo.jp/contents/000019338.pdf에서 발췌

(나) 환경성능 평가 항목 및 방법

1) 열환경효과

① 기초적 데이터

일사량, 기온, 풍속, 습도 : 기상관측장치로 측정

② 평가항목

지표 온도 : 적외선 카메라로 측정

일사반사량 : 일베도측정기로 측정

지중온도 : 열전쌍 온도센서로 측정

지중수분량 : 토양수분계로 측정

2) 경관 및 보행성 등

① 경관성 : 설문조사

② 보행성 : 설문조사

3) 유지관리 및 생육상태

① 피복률 : 사진촬영

② 유지관리 및 보수성

: 관수, 시비, 예초, 제초 등의 유지관리, 뗏밥 및 잔디교체 등의 보수 정도

③ 유지관리비용

: 여름철 1개월당 유지관리 비용

(다) 시사점

성능규정화는 시공 및 관리의 경과를 평가하여 시공비 및 관리비를 차등 지급하는 방법을 규정하는데 비하여 시험시공의 성능평가는 시공업체를 선정하기 위하여 실시된다는 점이 다르다고 할 수 있다. 시험시공에 많은 업체들이 참여하게 됨에 따른 비용증가가 문제점으로 대두될 수 있으나, 평가결과를 중시하게 되므로 업체들의 기술력 향상과 비용절감 기술개발이 촉진될 수 있다는 장점을 지니고 있다. 따라서 성능규정화의 시행에 앞서 성능규정화에 적응하기 위한 방법의 하나로 활발히 추진되어야 할 제도이다.

국내에서도 임해 매립지의 녹화공사나 비탈면 녹화공사의 경우 시험시공을 통하여 시공업체를 선정하는 방법이 시행되고 있는데, 식물의 활착 및 생육상태에 비중을 두고 있는 것으로 보인다. 녹화공사의 목적이 식물의 양호한 생육에 있다기보다는 생활환경의 개선 등에 더 큰 의의가 있으므로 평가의 방법도 목적에 적합한 성

능을 발휘할 수 있는 지 여부를 평가할 수 있도록 설정되어야 할 것이다.

다. 기술제안형 입찰

일본은 2005년 4월 1일부로 「공공공사의 품질확보 촉진에 관한 법률」(이하 "품확법"이라 함)을 시행하고 있다. 이 법률에서는 공공공사에서 품질과 가격이 뛰어난 계약을 하기 위하여 발주자는 입찰에 참가하는 자의 능력을 심사하고, 민간의 기술제안을 활용하며, 기술제안을 활용하기 위한 대화, 기술제안의 심사에 근거한 예정가격의 작성 등을 규정하고 있다.

(1) 종합평가방식[15]

공공공사의 품질을 확보하기 위한 실천방안으로는 낙찰자의 결정에 있어서 종합평가 방식을 추천하고 있다. 종합평가 방식은 1999년부터 대규모의 난이도가 높은 공사를 대상으로 실시하여 왔는데, 품확법의 시행으로 인하여 종합평가방식은 간이형, 표준형, 고도기술제안형 3가지로 구분하여 시행되고 있다.

표준형 종합평가방식은 공원정비공사와 같이 규모가 큰 공사에 적용이 되고 있는데, 공원정비공사는 민자유치방식으로 실시되므로 표준형의 적용사례는 민자유치방식에서 살펴보기로 한다. 조원공사는 소규모의 공사가 많아 간이형 종합평가방식이 많이 적용되고 있으므로 그 일례를 살펴보기로 한다.

(가) 간이형 종합평가의 순서

간이형 종합평가방식의 실시순서는 다음 그림에 나타내었다. 일반적으로 조건부 일반경쟁입찰로 실시되며, 지명경쟁입찰로 실시되는 경우도 있다. 심사결과 입찰참가 요건을 충족시키지 못할 경우에는 입찰참가를 할 수 없는 비지명자로 된다. 입찰참가 요건 충족하는 경우에는 표준점수 평점 100점을 얻게 된다.

15) http://www.hrr.mlit.go.jp/gijyutu/hinkaku/pdf/sougougaido.pdf

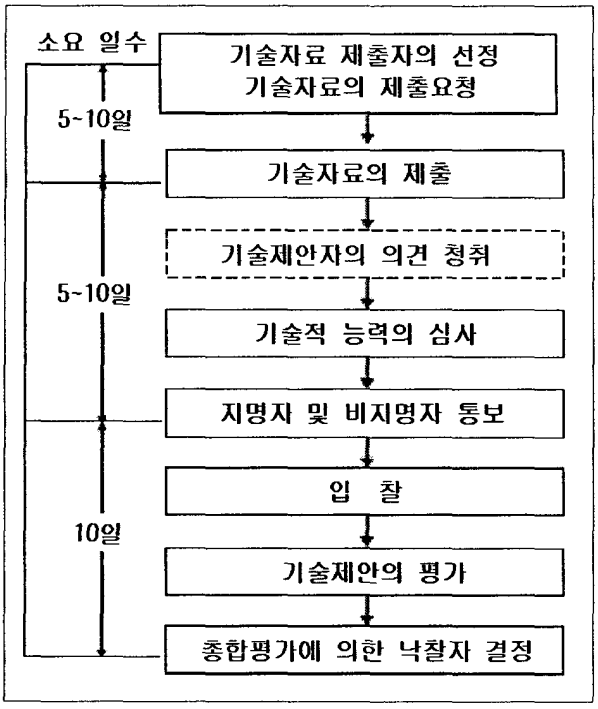


그림 2.25 간이형 종합평가방식의 실시순서

자료 :http://www.hrr.mlit.go.jp/gijyutu/hinkaku/pdf/sougougaido.pdf

(나) 기술적 능력의 심사

기술적 능력의 심사항목 및 배점은 다음 표에 일례를 나타내었다. 심사항목과 심사기준은 공사에 따라 다르게 적용되며, 가산점 점수도 10~30까지 다르게 적용되고 있다.

표 2.34 간이형 종합평가 기술능력 심사항목 및 배점

심사항목		배점
시공계획	시공계획의 타당성	4
	공기설정의 적절성	4
	시공상 배려하여야 할 사항	4
시공실적	과거 10년간의 동종·유사공사의 시공실적	1
	과거 2년간의 공사성적 평점	1
기술자의 능력	기술자의 보유자격	1
	과거 10년간의 기술자의 시공경험	1
	과거 2년간의 기술자의 공사성적 평점	2
지리적 조건	지역내의 본지점, 영업소 소재 여부	1
	과거 10년간 인근지역에서의 시공실적	1
합 계		20

(다) 낙찰자의 결정 방법

낙찰자의 결정은 입찰 후 기술제안 전에 결정되거나 기술제안 후에도 결정될

수 있다. 낙찰자는 평가치로 결정을 하게 되는데 평가치는 표준점(100점 만점)에 가산점(10~30점 만점)을 더한 값을 입찰가격으로 나눈 값을 적용한다. 다만 입찰가격이 예정가격보다 작아야 한다.

(라) 기술제안의 평가

낙찰예정자가 정해지면 기술제안을 받게 되는데, 설계도서에 정해진 공사목적물의 기능과 성능을 저하시키지 않는 범위 내에서 공사금액을 저감시킬 수 있는 방법을 제시한다. 제안내용을 평가하여 적정하다는 평가를 받게 되면 설계도서의 변경과 공사금액을 변경하여 계약을 체결하게 된다. 복수의 낙찰예정자로부터 기술제안을 받아 이를 심사한 후, 최종 낙찰자를 결정하는 경우도 있다

(2) 시사점

일본에서 품확법이 제정된 배경은 건설공사 규모는 작아지는데 비하여 건설업체의 수는 줄어들지 않았으므로 과당경쟁에 의한 공사품질의 저하가 주요 원인이었다. 종합평가 낙찰방식은 2억엔 이상의 공사에 적용되어 왔으나, 품확법 시행이후 국토건설성의 방침에 따라 2억엔 미만의 공사도 간이형 종합평가 낙찰방식을 도입하게 됨에 따라 비교적 소규모 공사가 많은 조경공사 분야에서도 적용되게 되었다. 일본 현지 조사에 의하면 소규모 공사인 경우 그동안 설계분야와 시공분야와의 협업이 이루어진 경우가 드물어 기술제안에 어려움을 겪고 있으며 특히 기술제안내용에 설계와 시공회사에서 이견이 발생하였을 경우 조정에 많은 어려움을 겪고 있는 것으로 나타나고 있다.

국내의 건설시장 사정도 일본과 크게 다르지 않으며, 건설교통부에서도 성능규정화의 시행을 서두르고 있으므로 일본의 경우를 참고로 하여 국내의 조경분야에서도 이에 대한 대비를 서두를 필요가 있다.

다. 공원정비공사의 민자유치 사업[16]

일본 국토교통성 도시지역 정비국에서 제시한 공원사업의 민자유치 사업방식은 서비스 구입형과 독립채산형으로 분리되어 시행되며, 서비스 구입형 사업으로는 공

16) http://www.city.yokosuka.kanagawa.jp/pfi/data/data04.pdf

원부지조성공사, 공원내 도로, 광장, 관리사무소, 창고, 휴게소, 전망대 등의 정비 및 관리를 예시하고 있으며, 독립채산형으로는 주차장, 레스토랑, 매점, 가공체험시설, 방문객센터 등의 건설 및 관리를 예시하고 있다

(1) 심사의 순서

공원정비사업에 있어서 민자유치사업 심사의 순서는 다음 그림과 같다. 이 그림에서 참가자격심사는 기본적 자격요건, 경영상황, 공원정비 및 기술제안에 관한 실적, 참가부적격자 등에 관하여 심사하고 참가자격에 미달될 때는 실격처리한다.

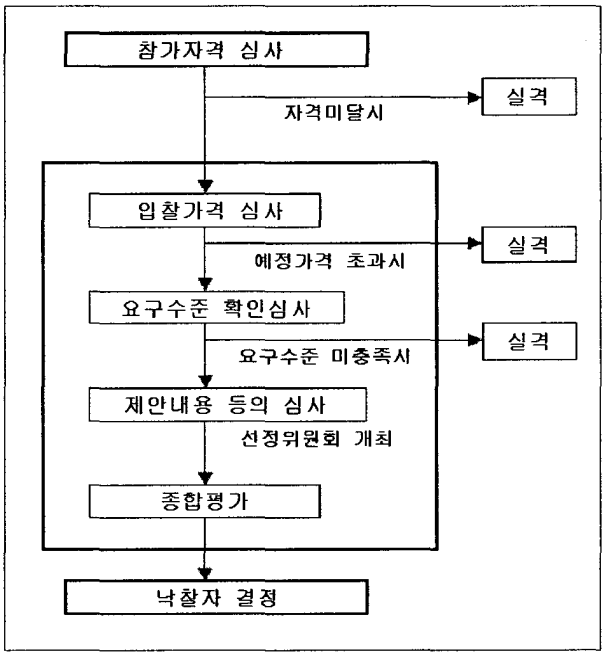


그림 2.26 민자유치사업 심사의 순서

자료: http://www.city.yokosuka.kanagawa.jp/pfi/data/data04.pdf

(2) 민자유치사업 심사항목별 배점

민자유치사업 심사항목 및 배점은 다음 표와 같다.

표 2.35 민자유치사업 심사항목 및 배점

평가항목	배점
입찰가격	30
사업전체의 제안에 대한 평가	10
사업의 확실성, 안전성 제안에 대한 평가	10
사업내용의 제안에 대한 평가	50
합계	100

입찰가격이 예정가격을 초과할 경우에는 실격처리 된다. 입찰가격의 점수 산출은 최저가격을 만점으로 하고, 2위 이하는 1위와의 비율로 산출한다(입찰점수=배점×입찰가격/최저가격).

입찰가격 이외의 심사기준 및 배점은 다음 표와 같다.

표 2.36 민자유치사업 심사기준 및 배점

평가 항목	계	소계	배점
1. 사업전체의 제안에 대한 평가	10		
가 정비 기본방침과의 합치성			2.5
나 시민에의 매력도			7.5
2. 사업의 확실성, 안전성 제안에 대한 평가	10		
가 유사 사업실적			4.0
나 경영악화시의 대응책			2.0
다 리스크의 구체적인 대응책			2.0
라 하도급계약 파탄시의 대응책			2.0
3. 사업내용의 제안에 대한 평가	50		
가 전체설계		15.5	
1) 토지이용계획			3.0
2) 동선계획			2.5
3) 조성계획			2.5
4) 시설배치			2.5
5) 녹화계획			2.5
6) 공급처리계획			2.5
나 운영 유지관리의 전체계획		17.5	
1) 유지관리 업무의 방침 및 실시체제			6.5
2) 유지관리업무의 효율화 및 질 향상			5.0
3) 운영업무의 방침 및 실시체제			6.0
다 각 구역별 계획(주차장 제외)		7.0	
1) 운영내용			3.5
2) 시설배치			3.5
라 주차장		3.5	
1) 운영내용			1.5
2) 시설배치			2.0
마 시공계획 등		2.0	
1) 개장까지의 일정, 공정계획			0.5
2) 시공의 방침(근린주민 대책, 안전대책, 품질확보대책			1.5
바 기타		4.5	
1) 기타			4.5
합계	70		

(3) 종합평가

종합 평가는 각 심사에서 득점한 수치를 합산하여 합계점을 산출하며 합계점이 가장 높은 사업자를 낙찰자로 선정한다.

합계점 = 입찰가격(30점) +사업전체의 제안에 대한 평가 점수(10) + 사업의 확실성, 안전성 제안에 대한 평가 점수(10) + 사업내용의 제안에 대한 평가점수(50)

(4) 시사점

성능규정화의 시행에 있어서 어려운 점의 하나는 성능보증에 비용이 많이 소요된다는 점을 들 수 있다. 민자유치사업은 민간의 자본이 투입되므로 성능보증비용에 대한 어려움은 해소될 수 있다는 장점을 지니고 있으며, 일본에서 성능발주로 예시하는 사업이 거의 민자유치사업인 것을 감안하면 성능규정화에 대한 대비로 민자유치사업의 특성을 잘 파악하여 대비하는 것이 가장 바람직할 것이다.

우리나라에서도 민자유치사업이 활발히 추진되고 있으나 조경분야에서는 건축물에 부수되는 조경사업에 국한되어 시행되고 있는 실정이다. 조경사업은 공공공사의 성격이 많으므로 국내에서도 조만간 민자유치사업의 대상에 포함될 가능성이 높다. 따라서 조경분야에서도 민자유치사업의 성능발주와 성능계약에 대비할 필요가 있다.

7. 건축기계설비 분야 국외 기술개발 현황

가. 기술기준 현황

(1) 미국 현황

17)18)미국에서는 건축기계설비분야의 설계 및 공사수행시 적용하는 기술 기준은 미국조달본부(GSA) 시방서, 미국연방 시방서(UFGS : United Federation Guide Specification), 건축가협회(AIA) 시방서, 건설기준협회 시방서(CSI : Construction Spec Institute), IMC(International Mechanical Code) 등이 있다. 위의 각종 시방서 중 가장 많이 활용되고 있는 기준은 CSI 기준으로 GSA를 비롯한 타 시방서는 활용빈도가 크게 감소하고 있다.

CSI 기준은 일반 시방과 기술시방으로 분류되며 전체는 50 division으로 나누어

17) ISO 6421, Performance Standard in Building-Principles of their Preparation and Factors to be Considered, 1981

18) National Building Code, USA

져 있으며 이 중 34 division이 제정되어있다. 기술시방은 General requirement, Facility construction, Facility service, Site and Infrastructure, Process Equipment 로 분류되어 있으며, 이 중 기계설비분야는 다음 표와 같이 15종으로 전체건설기준 중 큰 비중을 차지하고 있다. 또한 IMC는 기계분야의 기술전용 시방으로 2006년도에 제정되어 활용되고 있다.

표 2.37 CSI의 기계설비 현황

대 분 류	소 분 류	
Facility construction sub-group	DIV. 11	Equipment
	DIV. 14	Conveying equipment
Facility service sub-group	DIV. 21	Fire suppression
	DIV. 22	Plumbing
	DIV. 23	Heating ventilating and air conditioning
	DIV. 24	Reserved for future expansion
	DIV. 25	Integrated automation
Site and infrastructure sub-group	DIV. 33	Utilities
	DIV. 34	Transportation
	DIV. 35	Waterway and marine
Process equipment sub-group	DIV. 41	Material processing and handling equipment
	DIV. 42	Process heating, cooling, and drying equipment
	DIV. 43	Process gas and liquid handling, purification and storage equipment
	DIV. 44	Pollution control equipment
	DIV. 45	Industry-specific manufacturing equipment

CSI의 각 division의 구성 내용은 Part 1. 일반사항, Part 2. 자재 및 장비, Part 3. 시공으로 분류되어 있다.

Part 1.의 일반사항에서는 적용범위, 관련기준, 도면작성내용, 각 재료, 장비별 기준, 규격에 대하여 각종 단체 및 기관에서 제정한 관련기준들을 제시하고 있으며 적용되고 있는 기준 현황은 다음 표와 같다.

표 2.38 건축기계설비분야 적용관련 기준

약 어	내 용	약 어	내 용
ARI	Air-conditioning and Refrigeration Institute	ICC	International Code Council
ANSI	American National Standard Institute	MSS	Manufacturers Standardization society of the valve and fittings industry
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers	NACE	NACE International
ASSE	American Society of Sanitary Engineering	NEMA	National Electrical Manufacturers Association
AWWA	American Water works Association	NFPA	National Fire Protection Association
AWS	American Welding Society	NSF	NSF International
ASME	ASME International	PPFA	Plastic Pipe and Fittings Association
ASTM	ASTM International	PDI	Plumbing and Drainage Institute
CISPI	Cast Iron Soil Pipe Institute	SAE	Society of Automotive Engineers International
CDA	Copper Development Association	SSPC	The Society for Protective coatings
FCCCHR	Foundation for Cross-connection Control and Hydraulic Research	NARA	U.S. National Archives and Records Administration
ISEA	Industrial Safety Equipment Association	UL	Underwriters Laboratories
IAPMO	International Association of Plumbing and Mechanical Officials		

내용에서는 또한 제품의 승인방법, 시공도면 작성기준, 제품의 자료 및 시험방법 등을 명시하고 있으며 성능기준 내용은 해당 기술내용별로 제시하고 있다. Part 2. 에서는 각 항목에 관련된 자재, 장비, 부속류에 대하여 제품관련 기준을 제시하고, 사용조건, 성능기준을 명시하고 있으며 Part 3. 에서는 관련된 장비와 재료의 설치 및 시공방법에 대하여 상세한 기준을 제시하고 있으며 시공완료 후 시스템 테스트 및 조정, 시운전 방법, 이에 대한 프로세스까지 제시하고 있다.

[19]IMC에서는 건축기계설비의 설계, 시공, 유지관리에 필요한 기준을 제시하고 있

으며 소규모 주거용 건축물에는 적용하지 않도록 하고 있으며 주요 목차 내용은 다음과 같다.

표 2.39 IMC 현황

Chapter	명 칭
1	Administration
2	Definitions
3	General regulations
4	Ventilation
5	Exhaust systems
6	Duct systems
7	Combustion air
8	Chimneys and vents
9	Specific appliances, Fireplaces and solid fuel burning equipment
10	Boilers, water heaters and pressure vessels
11	Refrigeration
12	Hydronic piping
13	Fuel oil piping and storage
14	Solar systems
15	Referenced standards

미국, 영국 등의 국가에서는 관련기준 절차서, 평가기준 등을 개발하여 활용하고 있으며 이를 통하여 건축기계설비 성능과 품질을 확보하고 있다.

미국에서의 커미셔닝 수행은 [20]ASHRAE, AABC(Associated Air Balancing Council), NEBB(National Environment Balancing Bureau), BCA(Building Commissioning Association), SMACNA(Sheet Metal and Air Conditioning Contractor's National Association), PECI(Portland Energy Conservation. Inc)에서 기술기준, 절차서, 수행자 자격기준을 정하여 진행되고 있고 ASHRAE의 기준은 1988년 ANSI의 승인을 받아 커미셔닝 수행의 국가차원의 규격이 제정되어 있다고 볼 수 있다.

미국연방시방서(UFGS) division 23. Commissioning of HVAC System 2006년 판의 구성은 Part 1. 일반사항, Part 2. 제품, Part 3. 실행으로 되어있다.

---

19) International Mechanical Code, International Code Council, 2006
20) ASHRAE Standards, User's Manual, ASHRAE, 2001

Part 1.에서는 커미셔닝 수행시 필요로 하는 승인사항, 현장시공도, 테스트 결과서, 제품 성능 평가서, 커미셔닝 스텐다드, 공정표 작성, 관련 기술자 자격 등에 대하여 명시되어 있다.

Part 3.에서는 커미셔닝 수행에 필요한 장비와 시스템에 대한 체크리스트, 결과보고서 양식 등을 포함하고 있다.

이와 같이 미국에서는 건축기계설비관련 자재와 장비에 대하여 제품의 성능을 확보하기 위한 기준의 제정이 완비되어 있으며 또한 설계에서 준공단계에 이르기까지의 과정에 대하여도 주요 시스템에 대하여는 성능기준 제시하고 있다.

(2) 일본 현황

일본에서의 건축기계설비의 건설 분야 기술기준은 국내와 유사한 형태의 시방기준을 제정하여 시행하고 있으나, 하위기준에서는 설계기준을 포함한 일부분야에 대하여 성능기준을 제시하고 있다. 이는 설비시스템 전반에 대한 성능기준에는 미치지 못하고 있으며 그 내용은 다음 표와 같다.

표 2.40 일본의 기계설비분야 기술기준 현황

기준명	제정·개정년도	발행처	비 고
건축설비설계기준	2006	공공건축협회	
환기기준 및 해설	2003	공기조화위생공학회	
공기조화위생설비		〃	
공사표준사양서	2000	〃	
연돌설계계산기준	2004	〃	
건축설비내진설계	1994	〃	
급배수위생설비기준	2000	〃	

건축기계설비분야에 사용되는 장비 및 자재류에 대하여는 일본 산업규격(JIS)을 ISO로 변환하는 작업을 수행하고 있으며 JIS 규격이 없는 기타 자재 및 장비류에 대하여도 공공기관 및 학회 등 관련 단체에서 기본적인 사항에 대하여 제정하고 있으며 공기조화위생공학회에서 제정한 내용은 표 2.41과 같다. 21)22)23)건축설비설계와

21) 建築設備の性能檢証 過程指針, 空氣調和・衛生學會
22) 建築室內環境・設備システム性能評価方法
23) 設備システムに關する エネルギー性能計測マニュアル, 空氣調和・衛生學會

시공과정에 필요한 성능기준에 대하여는 일부기준은 제정을 완료하여 활용하고 있으며 준공인수인계 업무에 관한 가이드라인, 건축 실내환경·설비시스템 성능평가 방법 표준화 연구, 설비시스템의 에너지 성능측정 매뉴얼 등과 같이 설비분야의 연구가 진행되고 있으며 향후 이들의 활용이 크게 증가할 것으로 보여진다. 성능에 관련된 규격 및 연구 내용은 표 2.42와 같다.

표 2.41 일본 공조위생학회 규격 현황

규격 NO.	규 격 명
001-2005	도시기호
003-2000	스리브형 신축관 접수
005-1999	벨로즈형 신축관 접수의 설치 조정기준
006-1999	금속제 변위흡수관 이음
007-1999	메카니칼형 변휘흡수관 이음
008-1999	고무제 변위흡수관 이음
009-2004	건축설비용 인서트
010-2000	공기조화·위생설비공사 표준사양서
012-2005	건축설비용 시공앙카
102-2003	환기기준·동해설
103-2000	주철 보일러의 출력 시험방법
106-2005	감압밸브
110-1990	송풍기의 음향 파워레벨 측정방법
111-2004	연돌 계산기준
112-2000	냉난방 부하 간이 계산법
113-2001	개별 공조기의 음향 파워 레벨 측정방법
114-2000	공조기기 소음 측정방법
115-2002	실내 환기효율의 현장 측정법·해설
116-2003	트렌저가스 사용한 단일공간의 환기량 측정법
203-1998	배수·통기용 연관
206-建築室內環境·設備システム性能評価方法2000	급배수 위생설비 기준·동해설
209-2003	주철제 맨홀 뚜껑
210-2000	메카니칼형 배수용 주철관
211-2000	대기압식 바큠브레이커
212-2005	수격장치의 성능 평가 방법
215-2000	압력식 바큠브레이커
217-1999	그리스 조집기
218-1999	집합주택의 배수수직관시스템 배수능력시험방법

표 2.42 설비 성능 관련 일본 공조위생학회 제정 및 연구 현황

규격 NO.	규 격 명
G0005-2004	준공인수인계 업무에 관한 가이드라인
G0006-2004	건축설비의 성능검정지침
G2002-2004	부지·건물의 배수계통오염방지
M0006-2005	건축 실내환경·설비시스템 성능평가방법 표준화 연구
M0007-2005	설비시스템의 에너지 성능측정 매뉴얼
M1005-2005	특수구조 배연설비(압축배연) 설계 메뉴얼
R-0004-2004	건축설비 하자 정보공유와 공개에 관한 연구
R-2001-2004	학교 급배수 위생설비 주변 배관
R-2002-2004	몬테카를로 시뮬레이션 수법을 사용한 신 급수·급탕 부하 계산법
R-0003-2004	건축 설비의 내구성·부식 대책에 관한 조사 연구
R-1001-2004	공기조화 시스템 시뮬레이션 활용 가이드
R2004-2005	욕탕시설에서의 레지오넬라 대책 지침을 위한 조사 실험 연구
R-2003-2004	배수시스템 설계검토 소위원회 보고서
R-2005-2005	건물내 공급수 수질 연구
R-1003-2005	열부하·공조 소프트웨어 현황과 장래 전망
R-1004-2005	창주변 페리미터 공간의 환경과 부하 실태와 대책

나. 인증제도 현황

(1) 영국 BREEAM

1991년 건물과 지구환경의 관계에서 실내의 환경 성능을 향상시키면서 실외의 대기오염물질 발생을 최소화 하도록 하는 최적설계 방안을 모색하고자 하는 가이드라인으로 영국에서 BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)을 제시하였다. 이것은 신축 혹은 기존 건물의 환경성능을 평가하기 위한 독립적이고 권위있는 세계적인 평가방법이다. BRE와 민간기업이 공동으로 개발한 이 평가 방법은 건물 환경에 관한 질(Quality)을 측정하고 가시적으로 표현하며 건축주나 설계업을 측정하고 가시적으로 표현하며 건축주나 설계업자, 건설업자, 거주자, 유지관리업자를 대상으로 시장성과 평가도구로 활용될 수 있다.

BREEAM을 환경에 미치는 건물의 광범위한 영향에 대한 최근의 과학적 지식들

을 포함하고 있으며 환경 개선효과를 알려주는 역할을 할 수 있다.

BREEAM은 신축사무소, 상점, 주택, 산업시설, 기존 사무소 건물에 대하여, pass, good, very good, excellent 의 4단계로 인증을 하고 있다. BREEAM의 평가기준과 점수는 다음 표와 같다.

표 2.43 BREEAM의 평가기준과 점수

평가대상	사무소/주거건축물/공장		
평가항목 및 점수	Management	160점	총점 990
	Health & Well-being	150점	
	Energy	136점	
	Transport	98점	
	Water Consumption	48점	
	Materials	98점	
	Land Use	30점	
	Ecology	126점	
	Pollution	144점	
평가등급	구분	획득 점수	
	PASS	235~405 점	
	GOOD	385~550 점	
	VERY GOOD	530~695점	
	EXCELLENT	675점 이상	

(2) 미국 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) Green Building Ration System은 미국에서 시행하고 있는 친환경 건축물 평가기준으로 USGBC (U.S. Green Building Council)에 의해 개발되었다. LEED는 등록(설계단계-시공 완료전)단계와 완공 후 평가 단계가 있고, 현재 다음과 같은 내용으로 분류되어 있다.

① 신축건물 (New Construction, LEED-NC)

② 기존건물(Existing Building, LEED-EB)

③ 사무실, 판매시설, 공공건물 등의 임대공간(Commercial Interiors, LEED-CI)

④ 코어와 외부(Core and Shell, LEED-CS)

⑤ 단독주택(Homes, LEED-ND)

1993년 US Green Building Council(USGBC)이 설립되었으며, 그린빌딩의 친환경

정도를 객관적으로 측정할 수 있는 ration system 을 개발하게 된다. 1994년에 pass/fail 의 초기적인 형태의 'U.S. green building ration system for review'가 만들었으며 1998년 8월에 현재 사용 중인 인증제도 형태의 LEED™ version 1.0 이 개발되었다.

표 2.44 LEED 인증을 위한 필수 선행조건

항목	내용
1) 석면 사용금지	석면 사용금지, 단 기존건물로서 이미 석면이 사용된 건물이면 관련기준에 맞는 석면처리계획 제시
2) 빌딩 커미셔닝	반드시 빌딩 커미셔닝 계획에 의해 건축행위 추진
3) 에너지효율	관련기준에 따른 에너지 효율성 확보
4) IAQ	관련기준에 따른 IAQ 확보
5) 오존층 파괴물질 사용 금지	오존층 파괴물질/CFCs 사용금지 단, 기존건물이면 5년 이내 이러한 물질처리 계획제시
6) 금연	금연 건물일 것
7) 폐기물 재활용시설	관련기준에 따른 폐기물 재활용 시설 확보
8) 열적 쾌적기준	관련기준에 따른 열적 쾌적기준 만족
9) 수자원 보존시설	관련기준에 따른 수자원 보존시설 확보
10) 수질확보	관련기준에 따른 수질확보

LEED™는 상업건축, 공공건축, 고층주거건물들을 평가하는 시스템이며 ① Sustainable Site, ② Water Efficiency, ③ Energy & Atmosphere, ④ Indoor Environmental Quality, ⑤ Innovation & Design Process 의 총 5개의 카테고리로 구성되어 있으며 각 카테고리 안에는 친환경 요소를 평가하는 각 항목들이 나열되어 있고 각 항마다 일정한 점수(credit)를 주게 된다. 다음 표는 LEED의 평가기준과 점수 배점을 나타내고 있다.

표 2.45 LEED의 평가기준과 점수 배점

평가대상	상업 건축물(기존/신축) / 공공건축물 / 단독주택	
평가항목 및 점수	Sustainable Sites · 전제조건 : 물과 공기의 질에 악영향을 주는 토양침식과 침강에 대한 관리 계획	14점
	Water Efficiency	5점
	Energy and Atmosphere	17점

	· 전제조건 : 기본적인 빌딩시스템들의 커미셔닝 계획, 관련기준에 따른 최소한의 에너지 효율성 확보, 냉동공조 장비에서 오존층 파괴 물질/CFCs 사용금지	
	Materials & Resources · 전제조건 : 관련기준에 따른 폐기물 재활용 시설 확보	13점
	Indoor Air Quality · 전제조건 : 관련기준에 따른 최소한 IAQ 확보, 비흡연자의 담배연기에 대한 노출 방지	15점
	Innovation & Design Process	5점
평가등급	LEED Green Building / Certified	26~32점
	LEED Green Building / Silver Level	33~38점
	LEED Green Building / Gold Level	39~51점
	LEED Green Building / Platinum Level	52~69점

미국의 연방정부에서는 LEED Rating System, 훈련 워크샵, 참고자료의 개발 등을 후원하고 설계지침을 개발하였다. 그리고 Silver 혹은 Certified 인증을 목표로 하거나 권장하고 있고 Gold 등급의 획득을 요구하는 경우도 있다. 미국의 주(State)에서는 주지사들이 LEED에 의한 인증을 획득하거나 이용하도록 하는 행정명령, 법령, 조례 등에 서명하였다. 주(State)가 자금을 제공하는 일정 규모 이상의 신축건물이나 리노베이션 건물에 대해 LEED에 의한 인증을 요구하거나 고려 및 권장하고 있으며. 주로 Silver 등급을 요구하는 경우가 많고, 간혹 Certified 등급을 요구하기도 한다. 또한 몇몇 주(State)에서는 인증건물에 대한 세금공제와 인센티브 지급 프로그램을 시행하거나 고려하고 있다.

(3) 일본 CASBEE

일본에서는 2001년 4월 '건축물의 종합적 환경평가연구위원회'가 국토교통성의 주택국 지원 아래 산학관 공동 프로젝트로서 발족하였다. 이 연구의 성과로서 '건축물 종합 환경성능 평가시스템'인 CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency)를 개발하였다.

CASBEE 개발의 주요 목적은 건축물의 라이프 사이클에 걸친 지속 가능한 사회를 실현하기 위하여 정책 및 시장 쌍방의 수요를 지원하는 것이다. CASBEE는 프

리 디자인, 디자인, 포스트 디자인으로 이어지는 건축 디자인 프로세스의 흐름에 따라 다음 표와 같이 개발된 4가지 평가 툴로 구성되어 있다.

표 2.46 4가지 평가 툴의 개요

TOOL-0 예비설계 툴	건축물의 설계 전에 사업자나 기획·설계자를 지원하는 것을 목적으로 한다. 적절한 부지선정이나 프로젝트의 기본적인 영향을 평가하는 툴이다.
TOOL-1 환경배려설계 툴	설계자나 엔지니어가 설계 기간 중에 평가대상 건물의 BEE(환경성능효율) 향상을 위하여 참조할 수 있는 비교적 간단한 자기평가 체크시스템이다.
TOOL-2 환경분류 툴	건축물 완성 후 BEE를 바탕으로 그 건물의 환경대응 성과를 평가하는 툴로서 자산평가에도 활용할 수 있도록 한다.
TOOL-3 환경성능진단·개보수설계 툴	장래에 중요성이 높아질 것으로 예상되는 ESCO 사업이나 리모델링 산업으로의 전개도 포함시킨 건축물의 리모델링 계획이나 운용의 모니터링·커미셔닝 등에 대하여 제안할 때 활용 가능한 툴이다.

표 2.47 CASBEE 구성 툴의 적용단계

구분	주요 이용자	설계전	설계	설계후		
		기획단계	설계단계	준공단계	운용단계	개보수단계
예비 설계 툴	건축주, 기획자, 설계자	기획 초기단계에서 검토 가능한사항(부지선정, 프로그램 등)의 평가	설계 초기단계에서 검토 가능한 사랑	TOOL-0		
환경배려 설계 툴	건축주, 설계자		기획·설계단계에서 검토 가능한 사항 ①에너지 소비 ②자원순환 ③지역환경 ④실내환경평가	상세설계(시공사의 설계변경 등을 포함)에서 검토 가능한 사항	TOOL-1	
환경 분류 툴	건축주, 설계자, 시공자, 제3자 기관			위의 환경배려 설계툴을 이용한 임시 평가와 임시 분류	대략 1년 이상의 운용실적을 포함한 평가와 분류	TOOL-2
환경성능 진단·개보수 툴	건축주, 설계자(건축주가 컨설트에 위탁)			TOOL-3	대략 10년 이상의 운용 실적을 포함함 평가와 분류	설계단계, 설비 등의 상세설계단계의 평가를 거친 개보수시의 평가

(가) 4가지 평가 툴

CASBEE의 평가 툴은 예비설계 툴, DEF(Design for Environment, 환경배려설계) 툴, 환경분류 툴, 환경성능 진단·개보수 설계 툴의 4가지 평가 툴로 구성되어, 디자인 프로세스의 각 단계에서 활용된다. 각 툴에는 각각의 목적과 주요 이용자가 설정되어 있으며, 각 툴은 각각 사무소, 학교, 집합주택 등 다양한 용도에 대응되도록 계획되어 있다.

(나) CASBEE의 구조

① 환경용량의 한계와 부지경계

지역이나 지구의 환경용량이 한계에 직면하고 있다는 인식 아래 건축물의 환경평가에 있어서 환경용량을 결정하는 폐쇄계의 개념 제시가 필요하게 되었다. 따라서 CASBEE에서는 건축물의 부지경계에 의해 구분된 「가상 폐공간」의 개념을 이용한 건축물의 환경평가를 제안하였다.

② 부지경계의 내·외부 공간

부지경계에 의하여 정의된 가상경계에 의하여 평가대상이 부지의 내외로 구분하였다. 부지내 공간은 건축주 및 기획자를 포함하여 건축 관계자에 의하여 제어 가능한 공간이며, 부지외 공간은 비사유(공공) 공간으로 거의 제어가 불가능한 공간이다. 즉, 경계 내는 사유 재산으로서의 환경이며, 경계 외는 비사유 재산으로서의 환경이다.

③ 가상경계

건축물의 의한 환경부하를 평가함에 있어 CASBEE에서는 가상경계에 의하여 구분되는 2공간 각각에 관계되는 2가지 요인을 고려하였다.

가상경계의 개념을 이용함에 따라 이들 2요인을 명확히 정의·구별하는 것이 가능해졌다. 하나는 「가상 폐공간을 넘어 그 외부(공적 환경)에 도달하는 환경영향의 부의 측면」으로 정의되는 환경부하 요인이다. 또 하나는 「건축물 사용자의 생활 Amenity의 향상」으로 정의되는 가상 폐공간 내부에서의 환경의 질이나 성능의 개선이다. CASBEE에서는 이들 2요인을 「Q(건축물의 환경품질·성능」과 「L(건축물의 외부환경 부하)」로 정의한다.

④ 환경효율

건축부지의 가상경계 내외로 연결되는 위의 2요인을 통합하기 위하여 환경효율의 개념이 CASBEE에 도입되었다. 환경효율은 일반적으로 단위환경 부하 당 제품

또는 서비스의 가치를 말한다. 이 정의는 「생산적 결과」를 「투입+비생산적」결과로 나눈 것으로 확대시켜 다음과 같이 BEE 개념을 개발하였다. 즉, BEE란 분자를 「건축물의 환경 품질성능」, 즉 사용자의 Amenity에 있어서 평가되는 거주환경이며, 분모를 「건축물의 외부환경 부하」로 하여 산출한다.

⑤ CASBEE의 4가지 주요 분야와 재구성

CASBEE는 다음의 요소를 평가대상으로 한다.

1) 에너지소비

2) 자원순환

3) 지역환경

4) 실내환경

BEE 개념을 도입함에 있어서 평가항목을 분자측 "Q(건축물의 환경품질·성능)"와 분모측 "L(건축물의 외부환경부하)" 2가지의 주요 카테고리로 정리할 필요가 있기에 다음과 같이 재구성하였다.

⑥ BEE에 의한 환경 분류

아래의 그래프와 같이 횡축의 L에 대하여 종축의 Q가 플롯될 때, Q의 값이 높고 L의 값이 낮을수록 즉, BEE의 값이 클수록 그래프의 원점과 평가결과를 연결하는 직선의 기울기가 커져, 보다 지속 가능한 건축물로 판단된다. 이 수법에 의해 기울기에 따라 분할되는 영역을 바탕으로 건축물의 환경평가 결과를 분류(환경 분류)할 수 있게 되었다.

이 그래프에서는 건축물의 평가결과를 BEE 값이 증가함에 따라 영역별로 C급, B^+급, A급, S급으로 분류할 수 있다.

(다) DfE(환경배려설계) 툴

CASBEE는 건축물의 건설과정에 따라 적용하는 4가지의 툴로 구성되어 있다. 여기에서는 건물의 신축(설계 및 준공)시에 활용할 수 있는 DfE(환경배려설계) 툴 [TOOL-1]에 대하여 그 구조 및 사용 절차에 대하여 간략히 소개한다. DfE(환경배려설계) 툴은 설계자나 엔지니어를 위하여 준비된 셀프 체크시스템으로 건축물의 양식·규모와 관계없이 이용할 수 있다. DfE툴에서 이용한 평가는 기본설계 완료단계, 실시설계 완료설계, 준공단계의 3단계에서 실시된다.

① 기본구조

DfE툴에서는 평가자가 스코어시트 및 평가결과 표시시트 2가지의 포맷에 항목별로 채점을 한다. 각 평가항목의 평가결과는 스코어시트상의 Q(건축물의 환경품질·성능)와 LR(건축물의 환경부하 저감성)에 대한 득점으로 표시된다. DfE툴에서의 평가항목은 다음 표와 같다.

표 2.48 평가항목(1)

구분		평가항목	세부항목
Q : 건축물의 환경품질·성능	Q-1 실내 환경	1. 음환경	1.1 소음 1.2 차음 1.3 흡음
		2. 온열환경	2.1 실온제어 2.2 습도제어 2.3 공조방식
		3. 광환경	3.1 주광이용 3.2 글레어 대책 3.3 조도 3.4 조명제도
		4. 공기질	4.1 발생원 대책 4.2 환기 4.3 운용관리
	Q-2 서비스 성능	1. 기능성	1.1 기능성·활동의 용이성 1.2 심리성·거주의 편암함
		2. 내용성·신뢰성	2.1 내진·면진 2.2 부품·부재의 내용 연수 2.3 신뢰성
		3. 대응성·갱신성	3.1 공간의 여유 3.2 하중의 여유 3.3 설비의 갱신성
	Q-3 실외 환경 (부지 내)	1. 생물환경의 보전과 창출	
		2. 경관의 배려	
		3. 지역성·Amenity	

표 2.49 평가 항목(2)

구분		평가항목	세부항목
LR : 건축물의 환경부하 저감성능	LR-1 에너지	1. 건물의 열부하 억제	
		2. 자연에너지의 이용	2.1 자연에너지의 직접 이용 2.2 자연에너지의 변환 이용
		3. 설비시스템의 고효	3.2 공조설비

		율화	3.2 환기설비 3.3 조명설비 3.4 급탕설비 3.5 승강기설비 3.6 에너지 이용 효율화 설비
		4. 효율적 운용	4.1 모니터링 4.2 운용관리체제
	LR-2 자원・재료	1. 수자원 보호	1.1 절수 1.2 우수이용・잡배수 재이용
		2. 저환경부하 재료의 사용	2.1 자원이 재이용 효율 2.2 지속 가능한 삼림산출목재 2.3 건강피해의 우려가 적은 재료 2.4 기존 구체 등의 재이용 2.5 비 최종처분 예상량 2.6 프론・할론의 회피
	LR-3 부지 외 환경	1. 대기・지하수・토양 오염 방지	
		2. 소음・악취의 방지	2.1 소음・진동
		3. 풍해・일조장해의 억제	2.2 악취
		4. 광해의 억제	
		5. 온열환경의 악화 개선	
		6. 지역 인프라 부하 억제	

(4) 프랑스 : 까리뗄협회 (Association Qualitel)

프랑스는 공익법인인 까리뗄협회 (Association Qualitel : 프랑스 주택성 주도로 설립)가 소비자보호 관점에서 공업제품 및 서비스 인정제도를 틀로 정한 「소비자보호 및 정보공개에 관한 법률(1978년)」에 근거하여 설계평가를 목적으로 설립하였고 1982년부터 인증기관의 역할을 하였으나 1986년부터 까리뗄라벨(Qualitel label)을 발행하고 품질증명서를 교부하는 등 사용자에게 성능평가 결과를 제공하는 까리뗄 제도를 개시하였다.

까리뗄 라벨은 위생배관설비, 전기설비, 건물 실내 소음의 방음, 실외소음의 방음, 여름철 냉방, 외장・지붕의 유지비 난방・급탕비 수준의 7가지 항목을 1~5등급으

로 5단계로 평가하여 평점이 전체 항목 모두 3이상일 때 라벨을 부여하며, 표시는 별의 수로 한다. 추가적으로 특정한 성능이 우수한 것을 표시하는 라벨로 방음에 관한 항목(실내, 실외)이 모두 5일 경우 <음향 쾌적라벨> 난방·급탕비가 4 또는 5일 경우 <에너지 효율 라벨 별 4개 또는 별 5개>가 교부된다. 기타 선택 가능한 항목으로는 이동 용이성(accessibility)항목에서 평점 3 이상을 받으면 <accessibility label>을 부여 받는다.

평가는 설계도서의 평가와 시공시에 실시하는 적합성 검사가 있으며, 설계평가는 반드시 실시하지만 적합성 검사는 추출검사이다. 평가는 신청에 따라 실시하고 있으며, 개발업자가 신청하는 경우가 많지만 개인 건축가가 신청하는 경우도 있다. 설계평가는 Feasibility 조사, 잠정평가, 최종평가의 3단계로 실시하고 있다. Feasibility 조사는 설계에서 어느 정도의 성능레벨을 목표로 하는가는 건설공사 예산의 범위 내에서 신청자와 협회 간에 검토한다. 잠정평가는 건설공사 청부계약 전에 설계된 주택이 설정된 수준을 만족하고 있는가를 평가하며 평가결과는 설계에 반영(feedback)하여 개선한다. 최종평가는 청부계약도서를 대상으로 실시한다. 이 평가에 합격하면 Qualitel label이 발행되어 품질증명서가 교부된다. label은 설계도서, 계약서, 광고, 카탈로그, 주택 등의 다양한 매체에 표시할 수 있다.

8. 건축전기설비 분야 국외 기술개발 현황

가. 성능 중심 도입 현황

건축에서 성능에 대한 연구는 1960년대부터 세계적으로 수많은 조사 연구가 꾸준히 진행되었으며, 차츰 그 성과를 실제 적용할 수 있는 단계에 까지 이르게 되었다. 1980년에 건축성능에 관한 최초의 ISO 규격이 제정된 이래 현재까지 꾸준히 정비되고 있으며, 1984년에 영국의 건축법규에 성능 규정이 도입되어 1991년에는 성능 법규로서 정비되었다.

ISO 15686에서 '성능'의 정의를 "일정 시점에서 핵심적인 특성에 관한 품질 수준"으로 정하고 있으며, 여기에서 '핵심 특성'이란 내화 성능, 내구 성능, 내진 성능, 피로 성능 등을 의미하고 있다. 그리고 '성능기준'이란 "방법, 수행 절차 등을 제시

한 것이 아닌, 의도된 최종 성과물의 요구 성능에 초점을 맞춘 기준"으로 정의하고 있다.

일본에서도 1960년을 전후하여 건축성능에 대한 관심이 높아져 조사 연구가 진행되었으며, 1973년에는 JIS A 0030「건축의 부위별 성능 분류」 및 JIS A 1414「건축용 구성재 및 그 구조부분의 성능시험 방법」이 제정되는 등 몇 가지의 실용화도 이루어져 왔다.

여기서, ISO, CIB(International Council for Building Research Studies and Documentation : 국제건축연구정보회의), JIS 등에서 정의하고 있는 성능 관련 용어를 정리하면 다음 표와 같다.[24]

표 2.50 건축 성능에 관련한 용어 정의

용 어	정의 · 개념
성능(Performance)	제품(건축물 전체, 일부)의 사용과 관련한 거동
	목적, 요구에 응하여 물건이 발휘하는 능력
	목적, 요구에 응하여 발휘되는 성질
사용자의 요구 (User Requirement)	건축물이 확보해야 할 필요사항
요구 성능(Performance Requirement)	제품(건축물 전체, 일부)의 성능으로 표시한 사용자의 요구
기능(Function)	목적 요구에 응해서 사물이 수행하는 역할
	전체 시스템 중에서 어떤 물건이 수행하고 있는 역할
품질(Quality)	물품이나 서비스가 사용 목적에 부합하는 지를 결정하기 위한 평가 대상이 되는 고유 성질, 성능
	몇 가지 성질, 성능에 기초하여 행하는 물건의 종합적인 평가 결과
성질(Property)	물건이 원래 가진 본성으로 이것에 의해 다른 물건과의 구별 가능

다음 표는 해리슨(Harrison)이 영국 규격안으로서 보고한 건축 성능에 관한 용어의 정의이다.

24) 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발, 워크샵 겸 자문회의 자료, 한국건설기술연구원, 2007. 6

표 2.51 성능 관련 용어의 정의(영국 규격안, Harrison)

용 어	정 의	나사못의 예
환경 (Environment)	어떤 것의 성능에 영향을 미치는 모든 외적인 물리적 조건	막사의 욕실 도어 핸들의 나사못
기능(Function)	어떤 목적을 달성하기 위한 역할의 형태	접합하는 것
요구 기능 (Functional Requirement)	요구 기능의 정성적 표현	내구성이 있을 것
성능 (Performance)	정량적으로 표현한 사용시의 거동	주어진 환경에서 10년간의 내용연수를 지님
요구 성능 (Performance Requirement)	요구 기능의 정량적 표현	10년간의 내용연수를 확보할 것
성능 시험 (Performance Test)	어떤 것의 성능을 확인할 수 있는 데이터를 얻을 수 있는 시험	어떤 시험 조건하에서 정해진 시간 방치해도 부식되지 않는 것을 시험함
성능 평가 (Performance Assessment)	어떤 것의 성능을 요구 성능과 비교하는 것	10년간의 내용연수라는 요구 성능에 대한 나사못의 내구성을 알기 위해 성능시험의 결과와 비교 검토함
성능 시방 (Performance Specification)	어떤 것에 요구되는 성능을 정한 시방으로서, 시험방법까지 포함 가능	성능시험의 결과, 나사못이 소정의 수준에 적합할 것
성능 표준 (Performance Standard)	어떤 것의 성능에 대한 승인된 적정 수준(Agreed Acceptance Level) ※ 이 용어는 반드시 확보해야 하는 수준과 확보만 하면 되는 수준의 어디에나 사용할 수 있으므로 어느 쪽을 말하는지 명확히 표시해야 함.	1) 확보해야 하는 수준 (Criterion) : 영국 규격의 성능시험에 규정된 수준 이상일 것 2) 확보한 수준(Achievement) : 영국 규격의 성능시험에 규정된 수준을 확보할 것
특성 (Characteristic)	어떤 물건의 하나의 특성	나사못의 홈이 파여 있음
성질 (Property)	어떤 물건이 지닌, 다른 것과는 관계없는 그 자신의 본질적인 성질	길이가 15 mm임
속성(특질) (Attribute)	어떤 물건이 본질적인 아닌, 다른 것과의 관계에 의해서만 정해지는 성질	나사못은 다른 물건에 돌려 넣을 수 있음.

나. 일본의 성능기준 현황

(1) 건축전기설비 설계기준

(가) 부하설비별 설계자료 개요

국토교통성은 국가기관의 건축물을 대상으로 건축물의 계획, 정비에 관한 설비 기술 기준의 정비를 추진하여 왔으며, 2002년도에 개정한 '전기설비 설계기준'에 대하여 신기술의 도입 및 관련 관계 법규류 등과 연관되는 개정 사항을 반영하여 2006년 9월에 개정하였다.

이 기준에서는 관청시설의 기본적인 성능 기준과의 관계 및 적용 범위 등을 기술하고, 각 설비 항목마다 실시 설계할 때의 표준적인 방법을 제시하며, 설계할 때 필요한 기술적 자료 등을 설계 자료로서 제공하고 있다.

① 전등설비

예, 기능을 만족해야 하는 사항 : 조도기준 - 부속기기의 성능보증기간이 다름.

② 동력설비

- 사용전압별 전동기용량의 크기 한계
- 인버터 장치의 규약효율

③ 옥내 간선

- 배선의 허용전류와 전압강하

④ 수변전설비

- 신뢰성 향상, 시설의 중요도, 업무 내용 등을 고려 다회선 수전, 모선의 이중화, 불연화 기기 사용
- 적절한 용량 산정, 에너지절약 고려, 수명 연장 고려 등

⑤ 발전설비

- 적정한 발전기 출력 산정

⑥ 내진

- 설비기기는 지진시 이동, 전도 등이 발생하지 않도록 설계용 지진력을 토대로 고정한다.
- 설계용 지진력은 각 시설의 기능 및 용도에 따른 지진 안전성 분류에 의한

설계용 수평진도 및 설비기기류의 질량을 토대로 결정한다.

(나) 수변전설비용량 산정 기준

① 기본 사항

수변전설비는 신뢰성 향상 대책으로서 시설의 중요도, 업무 내용 등에 따라서 다회선 수전, 불연화를 고려한 기기 등을 채용한다.[25]

② 설계기준

시설에 필요한 전등, 동력설비 등의 부하에 대하여 적정한 수용률을 고려하여 결정한다.

수변전설비용량은 집계한 부하용량을 토대로 결정한 변압기 용량과 고압전동기 용량의 합계로 한다. 변압기 1대에 접속 가능한 보정 부하용량의 계산식은 다음과 같다. 각 상의 불평형률을 30% 이하 또는 100kVA 이하로 억제한다. 또한, 적정한 여유를 고려한다.

1) 전등 보정부하용량 T_r [kVA]

$$T_r = f_{1r}\sum L + f_{2r}\sum C_i + f_{3r}\sum FC_i + f_{4r}\sum OA_i \qquad (2.1)$$

여기에서, L_i : 각 분전반의 조명부하 합계용량(예비회로분은 제외한다) [kVA]

C_i : 각 분전반의 OA 부하 및 팬코일을 제외한 콘센트 부하 합계용량(예비회로 분을 제외한다) [kVA]

FC_i : 각 분전반의 팬코일용 콘센트 부하 합계용량 [kVA]

OA_i : 각 분전반의 OA 부하 [kVA]

f_{1i} : L_i에 대한 보정계수(그림 2.27 참조)

f_{2i} : C_i에 대한 보정계수(그림 2.27 참조)

f_{3i} : FC_i에 대한 보정계수(그림 2.27 참조)

f_{4i} : OA_i에 대한 보정계수(1로 하고, 실정에 따라 적정하게 고려한다.)

25) '建築設備設計基準, 日本公共建築協會, 2006

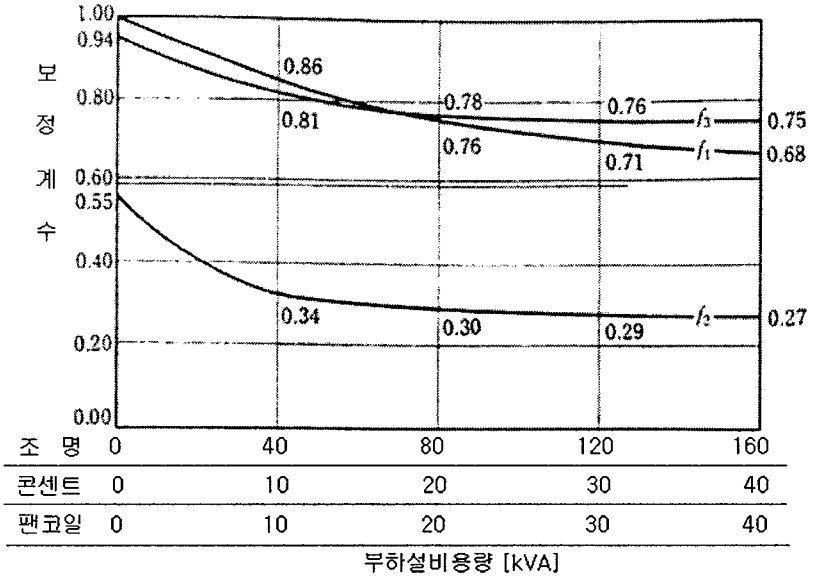


그림 2.27 전등부하의 보정계수

2) 동력 보정부하용량 T_{m}, [kVA]

$$T_{mr} = f_{5r}\sum P_{ar} + f_{6r}\sum P_{bf} + f_{7r}\sum P_{cr} \quad (2.2)$$

여기에서, P_{a} : 냉동기, 패키지형 공조기, 엘리베이터 부하용량 [kVA]

P_{b} : 공조 및 환기 관계 부하(패키지형 공조기는 제외) 용량 [kVA]

P_{c} : 위생 관계 기타 부하용량 [kVA]

f_{5} : P_{a}에 대한 보정계수(그림 2.28 참조)

f_{6} : P_{b}에 대한 보정계수(그림 2.28 참조)

f_{7} : P_{c}에 대한 보정계수(그림 2.28 참조)

3) 수변전설비용량의 결정

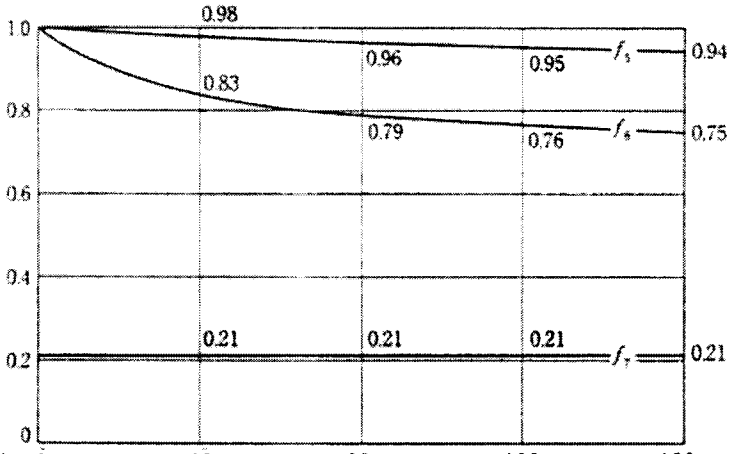
수변전설비용량은 다음 식에 의해 결정한다.

$$E_{sr} = T_{Lr} + T_{Mr} + P_{M} \quad (2.3)$$

여기에서, T_{L} : 단상 변압기의 정격용량(비상시만 사용하는 스콧트결선 변압기의 용량을 제외한다) [kVA]

T_{M} : 3상 변압기의 정격용량 [kVA]

P_{M} : 고압전동기의 입력용량 = 1.18 × 고압전동기의 정격출력 kW [kVA]



냉동기	0	40	80	120	160
공 조	0	40	80	120	160
위 생	0	20	40	60	80

부하설비용량 [kVA]

비고 : 1대 변압기의 부하용량 중, 위생 기타 부하가 차지하는 비율이 큰 경우, 부하의 수용률을 충분히 검토하고 f_7, 값을 적정하게 수정한다.

그림 2.28 동력부하의 보정계수

③ 수변전설비 구성에 관한 설계기준

1) 설계기준

㉠ 수변전설비의 배전반 형식은 원칙적으로 큐비클식 배전반 또는 고압 스위치기어로 한다.

㉡ 수변전설비에 사용하는 기기는 열적, 기계적 강도 및 내전압 등을 고려해야 하고, 종별, 정격 등을 선정한다.

㉢ 수변전설비의 주 차단기 조작은 원칙적으로 수동으로 하고, 필요에 따라 자동 및 원방으로 제어를 행하는 것으로 한다.

㉣ 단락, 지락 사고 발생시에는 확실하게 주차단기, 퓨즈 등에 의해 자동적으로 사고점을 절체하고, 휘더, 모선, 부하 등을 보호하도록 한다. 또, 다회선 수전, 모선의 이중화 등의 신뢰성 향상 대책을 행하는 경우 수동 또는 자동에 의해 절체조작이 확실하게 행하는 것으로 한다.

2) 변압기 관련 설계자료

㉠ 변압기의 단기 용량은 단상 300 kVA 이하, 삼상 500 kVA 이하로 한다.

㉡ 변압기의 정격 용량은 원칙적으로 집계한 보정 부하용량의 직근 상위로 하고, 아래의 표에 의한다.

변압기의 정격용량 [kVA]	20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500

㉢ 변압기의 정격전압은 아래의 표에 의한다.

정격 1차 전압 [V]		6,600
정격 2차 전압 [V]	단상	210 - 105
	삼상	210, 420, 440

㉣ 동력 변압기의 부하측에서 자동역률조정을 행하고, 변압기의 부하용량의 저감이 가능한 경우는 동력 보정부하용량을 저감하여 변압기를 선정할 수 있다.

㉤ 정격 2차 전압이 단상에 있어서는 210-105 [V], 3상에 있어서는 210, 420, 440 [V]의 변압기 종별은 원칙적으로 JIS C 4304 "배전용 6kV 유입변압기"로 한다.

또, 불연화가 필요한 경우는 JIS C 4306 "배전용 6kV 몰드변압기"로 하고, 특기한다.

㉥ JIS C 4304 "배전용 6kV 유입변압기" 및 JIS C 4306 "배전용 6kV 몰드변압기"에 규정하는 에너지 소비 효율 이외의 변압기를 사용하는 경우는 에너지소비효율 값을 특기한다.

(2) 관청시설의 종합내진계획기준[26]

(가) 전력의 확보

1) 대지진동후에 있어서 갑류 및 을류 분류에 따라 설비기능을 확보하기 위하여 상용전력의 절대 대책을 배려한다.

2) 자가발전설비를 설치하는 경우 용량, 연속 운전 가능시간 및 연료 비축량에 대해서는 갑류 및 을류 분류에 따라서 결정한다.

3) 직류전원설비를 설치하는 경우의 용량 및 방전시간에 대해서는 갑류 및 을류 분류에 따라서 결정한다.

4) 수변전설비, 자가발전설비, 직류전원설비, 간선 등의 전력공급에 관한 설비에 대해서는 대지진동후의 불의의 사태에 대비하여 신뢰성 향상을 도모한다.

---

26) '官廳施設の總合耐震計劃基準及同び解說, 日本公共建築協會, 1997

① 상용전력의 절대 대책

상용전력의 절대 대책은 다음 표를 참조하고 갑류 및 을류 분류에 따라서 검토한다.

표 2.52 상용전력의 절대 대책

상용전력의 절대 대책 항목	갑류	을류
자가발전설비 및 직류전원설비의 설치	◎	△
본건 예비선 등의 전력 다회선 인입	○	△
이계통변전소로부터 전력의 2루트 인입	△	—
외부 전원차로부터 인입 및 접속 대응 (주)	○	△

(비고) ◎ : 원칙으로 채용할 것
○ : 채용이 바람직함
△ : 시설의 개별 조건에 의해 채용여부를 검토할 것
— : 일반적으로 채용하지 않음.
(주) 을류의 건축물 중 지역 방재계획에 있어서 피난소로서 위치한 시설은 채용이 바람직하다.

② 자가발전설비의 용량 등

자가발전설비의 용량, 연속운전 가능시간 및 연료 비축량은 갑류 및 을류 분류에 따라서 원칙적으로 다음에 의한다.

1) 자가발전설비 용량의 계산 방법은 건축설비 설계기준의 출력산출 Flow Chart에 준하지만, 재해 대응대책 활동 등을 배려하여 식 (2.4)를 이용한다. 또, 공급 대상 부하는 표 2.53 및 표 2.54, 표 2.55를 참조하고 시설의 목적 및 필요로 하는 기능을 감안하여 결정한다.

$$G = \quad \times RG \times \quad K_{\prime} \qquad (2.4)$$

여기서, $G_{\prime}$: 발전기 출력 [kVA]

$_{\prime}$: 보정계수(이동통신차 기타 긴급을 필요로 하는 부하로서, 계획 당초에 상정할 수 없는 것의 공급분을 고려한 계수이다.

$RG_{\prime}$: 발전기 출력계수

$K_{\prime}$: 부하출력 합계[kW]

표 2.53 보정계수(γ)

	갑류	을류
	1.1	1.0

2) 대지진동후에 있어서 확보해야 할 자가발전설비의 전부하에 있어서 연속운전 가능시간 및 연료 비축량은 갑류 및 을류로 분류하여 대응하고 원칙으로서 다음에 열거한다.

㉠ 갑류 : 대지진진동후에 시설의 계속적인 활동이 가능하게 한다. 연속운전 가능시간은 대지진동후에 상용전원의 복구에 요구하는 시간이고, 그 상정이 곤란한 경우는 1주간 정도로 한다.

또, 연료 비축량은 상용전원의 복구에 요구하는 시간 또는 연료의 보급에 요구하는 시간 중 짧은 것으로 한다. 다만, 그 상정이 곤란한 경우는 72시간 정도로 한다. (연료 보급도 더해서 1주간 정도의 연속운전이 가능한 자가발전설비로 한다.)

㉡ 을류 : 대지진동후 피난, 소화 등의 인명 안전을 위한 설비기능이 확보 가능한 것으로 한다. 연속운전 가능시간 및 연료 비축량은 원칙적으로 재청자가 피난에 요구하는 시간 및 잔무활동에 필요로 하는 시간이고, 그 상정이 곤란한 경우는 10시간 정도로 한다.

③ 축전지 용량 및 방전시간

축전지 용량 및 방전시간은 원칙적으로 다음에 열거한다.

1) 축전지 용량의 산출방법은 건축설비설계기준에 기재한 방법으로 한다.

2) 대지진동 후에 있어서 확보해야 할 축전지의 방전시간은 다음과 같이 한다.

㉠ 비상용 조명용 : 30분간 다만, 자가발전설비를 가지며 그 공급을 받는 경우는 10분간으로 한다.

㉡ 제어용 : 수변전설비의 조작용 및 감시용으로서 30분간 이상

다만, 자가발전설비의 부작동 등의 불의의 사태 및 시설의 개별 조건을 배려하고 설정을 행한다.

표 2.54 발전기 회로 부하

부하 용도	부하의 종류	부하 내용	갑류	을류
대지진진동후 재해대응대책을 행하는데 필요한 부하	조명	활동거점실 및 활동지원실 : 전 등수 활동 통로 : 전 등수의 1/2	○	-
		일반사무실 : 1 span 1등 이상 일반실 : 전 등수의 1/2< ,1/3 복도 : 전 등수의 1/2< ,1/3 계단 : 전 등수	○	○
	통신 연락용 기기	통신, 연락용 기기 등 활동거점 업무에 필요한 것	○	-
		전화용, 확성, 인터폰 등	○	○
		공중전화용, TV공청용	○	△
	정보처리장치	업무의 계속에 필요한 것	○	△
	공조 관련 기기	활동거점실 및 활동지원실 중 필요한 것	○	-
		창이 없는 거실, 주방, 탕비실, 급기 배기실의 전체	○	○
	급수, 배수펌프	전체(정화조 포함)	○	○
	주방기기	냉장고, 냉동고 등 필요한 것	○	△
	콘센트	업무의 계속에 필요로 하는 것	○	△
	엘리베이터	각 파소크 중 1대 < , 반수	○	△
		절체에 의해 1대씩 운전	-	△
	감시제어장치	중앙처리장치, 전송단말국 등 필요로 하는 것(UPS 포함)	○	△
방재용 부하	비상용 엘리베이터	전체	○	○
	소화펌프, 배연팬	전체(화재시만 운전)	○	○
	비상용조명, 유도등	전체(화재시만 운전)	○	○
	자동화재탐지설비, 비상방송장치	전체(방배연 연동제어장치, 샤터 등 방재기기 포함)	○	○
	직류전원장치	전체	○	○
발전기 운전에 필요로 하는 부하	발전기실 급배기팬	전체	○	○
	발전기용 보조기기	전체(연료이송펌프를 포함)	○	○

(비고) ○ : 발전기 부하로 해야 할 것
△ : 시설의 활동내용에 대해 검토할 것
— : 일반적으로 자가발전 부하로 채용하지 않음.

표 2.55 발전기 회로 부하(사무 청사 이외의 경우에서의 예)

시설의 종류	부하의 용도	부하 종류	부하 내용
구급 의료활동을 행하는 구호시설 (갑류)	대지진진동 후 재해대응 대책을 행하는데 필요한 부하	조명	구급의료활동에 사용하는 장소, 간호실 전체
		통신, 연락용 기기	너스콜, 페이징, 기타 연락설비를 포함, 구급의료활동에 필요로 하는 전체
		공조관련 기기	구급의료활동에 사용하는 장소, 간호실 전체, 병실 등 : 급기, 배기팬 전체
		콘센트	의료기기, 검사기기 등 구급의료활동을 행하는 것(무순단의 의료기기용 UPS 포함) 및 간호실 사용기기, 콘센트의 전체, 병실 등 각 실 1개소 이상의 콘센트
학교, 연수시설 등 중 지역방재계획에 있어서 피난소로서 위치하는 시설	대지진진동 후 활동을 행하는데 필요한 부하	조명	피해자 받는 장소의 전체 1/2 피해자 받아 업무를 행하는 장소
		통신, 연락용 기기	방송설비 등 필요로 한 것, 전화 TV 등 일부
		콘센트	피난 생활에 필요로 하는 콘센트(전기밥솥, 곤로, 가설 전화, 옥외조명용 등에 사용하는 것)

(주) 방재용 부하 및 발전기 운전에 필요로 하는 부하는 생략함.

④ 전력공급에 관한 신뢰성 향상대책

수변전설비, 자가발전설비, 직류전원설비, 간선 설비 등의 전력공급설비에 대해서는 갑류 및 을류의 분류에 따라 다음 표에 의해 신뢰성 향상을 도모한다.

상기 외에 불의의 사태에 대해 조기 복구성능의 향상을 도모하기 위해 다음 사항을 배려한다.

1) 전기실은 입구 등으로부터의 침수방지에 배려하는 동시에, 화재의 위험성이 높은 것으로부터 이격한다. 방화 구획하는 등 기타로부터의 연소 피해방지에 배려한다. 또, 수배관을 통과하는 않는 등, 물로 인한 피해를 받지 않도록 하는 것 및

천정으로부터 낙화물에 의한 피해를 피할 수 있도록 배려한다.

표 2.56 전력공급설비의 신뢰성 향상 대책

전력공급설비의 신뢰성 향상 대책	갑류	을류
전력공급은 각각 변압기로부터 2계통 공급하는 등 수변전설비를 이중화한다.	○	△
간선을 각각의 루트로 본선 예비선 공급하는 등 이중화한다.	○	△
전력공급설비의 감시제어설비는 신호다중전송계통으로 하고, 현장으로부터의 직송배전 계통을 설치한다.	○	△
전력공급설비의 감시제어설비 전체를 이중화한다.	△	-
자가발전설비를 보조 기기류를 포함해서 복수 세트로 분할하고, 단독운전/병렬운전이 가능하다.(주)	○	-
자가발전설비의 냉각방식을 공랭식으로 한다.	◎	○
직류전원설비는 비상용조명용과 수변전설비제어용을 각각 설치한다.	◎	△
직류전원설비는 수변전설비 제어용으로서 예비기를 설치한다.	○	△
(비고) ◎ : 원칙으로 채용할 것 ○ : 채용이 바람직함 △ : 시설의 개별 조건에 의해 채용여부를 검토할 것 — : 일반적으로 채용하지 않음. (주) 복수 세트로 분할하는 것에 적절하지 않고, 소용량의 경우 등은 제외한다.		

2) 전원공급에 관한 설비의 점검이 용이하게 하고 주변의 공간을 충분히 확보한다.

3) 전원공급에 관한 설비의 오동작 및 오조작 시에 대응하는 리세트 방법의 기재 및 응급 대응 방법의 기재를 포함한 조작 매뉴얼를 구비한다. 또, 그 조작이 분간하기 쉽도록 기기 측에 표시한다.

4) 이상개소가 특정하게 쉽도록 경보표시 내용과 그 방법을 결정한다.

5) 자가발전설비 연료계통의 air 누설 방지를 위한 서비스탱크 최저 유량경보, 발전기 정지기구의 설치 등, 자가발전설비 정지 후의 지장 없게 재기동이 가능하도록

한다.

6) 구성부품은 호환 유니트화 등 대체 가능하고 또, 구입이 용이한 표준품으로 구성하고 예비품을 비축한다.

7) 발전기실의 환기는 예를 들면, 지하층에 설치하는 경우는 Dry Area 및 급기, 환기가 용이하도록 하는 등 기계 환기로 하지 말고 자연 급기, 자연 배기가 가능하도록 배려한다.

(3) Green 청사기준

(가) 개요

국토교통성은 국가기관의 건축물의 계획, 정비에 관한 환경보전 대책을 한층 추진하기 위하여 지금까지 적용하여 온 환경 배려형 청사계획지침(Green 청사 계획지침)을 토대로 '관청시설의 환경보전성에 관한 기준(2005년 3월 31일)'을 제정하였다.

'Green 청사'란, 계획, 건설에서 운용 및 폐기에 이르기까지 Life Cycle를 통하여 환경 부하를 최소화하도록 배려하고, 일본의 건축분야에 있어서 환경보전대책의 규범이 되는 관청시설이다. 'Green 청사'의 구체적인 환경 부하 저감 기술은 ① 주변 환경에의 배려, ② 부하의 억제, ③ 자연에너지의 이용, ④ 에너지자원의 유효 이용, ⑤ 장수명화, ⑥ Eco Material(CO_2, Cl, F 등 억제 재료)의 사용, ⑦ 적정 사용, 처리 등이다.

공공건축협회에서는 관청시설을 정비할 때에 시설물이 최종적으로 이 기준에 적합하도록 정비 프로세스의 전형을 나타내는 해설집을 작성하여 보급하고 있다.[27]

(나) Green화 성능에 관한 기술수준 및 기술적 사항

Green에 관계되는 성능의 항목은 장수명, 적정 사용·적정처리, Eco-material, 에너지절약·에너지자원 및 주변 환경보전에 관한 성능을 말하며, 다음과 같이 기술하고 있다.

① 장수명

장수명에 대한 수준은 다음에 열거하는 기술적 사항을 배려하고, 시설의 장수명화를 도모하고 종합적으로 환경부하를 저감하는 것으로 한다.

---

27) 'グリーン廳舍基準及同び解說, 日本公共建築協會, 2005

1) 층고, 바닥면적, 바닥하중 등의 여유도 및 간막이 등의 가변성을 배려하고, 내부 기능의 변화에 유연하게 대응 가능한 것으로 한다.

2) 구조체에 대하여 내구성이 우수한 것으로 한다.

3) 건축 비구조부재 및 건축설비에 대해서는 합리적인 내구성이 확보하는 것으로 하는 동시에, 갱신 수선 및 보수가 용이한 것으로 한다.

4) 적절한 유지관리가 용이하게 행하도록 적절한 작업공간 등을 확보한다.

② 적정 사용 및 적정 처리

적정 사용 및 적정 처리에 대한 수준은 다음에 열거하는 기술적 사항을 배려하고, 폐기물의 삭감 및 적정 처리, 자원의 순환적인 이용 등을 행하고, 종합적으로 환경부하를 저감하는 것으로 한다.

1) 건설 부산물의 발생 억제, 재사용 및 재생 이용을 도모한다.

2) 환경부하가 큰 물질을 사용한 기자재의 사용을 억제하는 동시에 적절한 회수를 배려한다.

3) 시설 운용시 폐기물의 적절한 처리를 배려한다.

③ Eco-material

Eco-material에 대한 수준은 다음에 열거하는 기술적 사항을 배려하고, 환경부하를 저감할 수 있는 기자재를 사용하고 종합적으로 환경부하를 저감하는 것으로 한다.

1) 환경부하가 작은 자연 재료를 채용한다.

2) 폐기물 등의 재사용 또는 재생 이용한 기자재를 사용한다.

3) 부분적인 갱신이 용이하게 되도록 분해가 용이한 기자재, 모듈 재료 등을 사용한다.

④ 에너지절약 및 에너지자원

1) 부하의 절감

에너지절약 · 에너지자원 중 부하의 저감에 대한 수준은 다음에 열거하는 기술적 사항을 배려하고, 건축설비의 부하를 억제하고 종합적으로 환경부하를 저감하는 것으로 한다.

㉠ 건축물의 방위, 실의 배치 등에 대해서 배려하고, 외벽을 통한 열부하의 저감을 도모한다.

㉡ 단열성이 높은 재료, 공법의 채용 등에 의해 건축구조체를 통한 열부하의 저

감을 도모한다.

㉢ 단열, 일사 차폐성이 높은 建具 및 유리 등의 채용에 의해 개구부를 통한 열부하의 저감을 도모한다.

㉣ 실내에서 발생한 열이나 오염물질의 확산을 억제하고 공조, 환기량을 저감한다.

㉤ 에너지손실 저감을 고려한 건축설비시스템으로 한다.

- 배전손실 등을 저감하도록 설비 제실(諸室)의 적절한 배치 등을 검토한다.

- 적절한 에너지절약 설정을 행하는 공조 조닝, 초기 조도 보정이나 인체감지센서의 채용 검토, 조명 및 공조의 제어구분 배려 등에 의해 불필요한 조명 전력이나 공조용 에너지 등의 삭감을 도모한다.

2) 자연에너지의 이용

에너지절약·에너지자원 중 자연에너지의 이용에 대한 수준은 다음에 열거하는 기술적 사항을 배려하고, 자연에너지의 유효 이용을 도모하고 종합적으로 환경부하를 저감하는 것으로 한다.

㉠ 자연광의 활용에 의해 조명 부하의 저감을 도모한다.

- 자연광을 적극적으로 활용한다.

- 주광에 연동하여 조명을 제어하는 자동조광(調光)시스템의 채용을 검토한다.

- 지하층, 무창층 등에서는 집광장치와 광통신케이블 등에 의한 주광이용시스템의 채용을 검토한다.

㉡ 자연통풍의 활용에 의해 냉방부하의 저감을 도모한다.

㉢ 태양광발전, 태양열 급탕, 외기 냉방 등에 의해 자연에너지의 이용을 도모한다.

- 전력수요의 Peak-cut 방식의 효용, 건축규모를 고려한 태양광발전의 채용을 검토한다.

- 풍력 등의 자연에너지를 이용하는 건축설비시스템에 대해서는 각각 건물의 용도, 규모, 입지 등을 고려하여 채용을 검토한다.

3) 에너지, 자원의 유효 이용

에너지절약·에너지자원 중 에너지·자원의 유효 이용에 대한 수준은 다음에 열거하는 기술적 사항을 배려하고, 에너지 및 자원의 유효 이용을 도모하고 종합적으로 환경부하를 저감하는 것으로 한다.

㉠ 에너지의 변환 및 이용이 종합적 또는 효율적으로 실시되도록 건축설비시스템으로 한다.

㉡ 전력부하의 저감 및 평준화를 도모한다.

㉢ 시설 부위에 따른 운전제어방식에 의해 반송 에너지의 최소화를 도모한다.

㉣ 고효율 조명기구의 사용, 시설 부위에 따른 점등 방식의 채용 등에 의해 조명에너지의 최소화를 도모한다.

㉤ 잡용수의 일부로서 우수 또는 배수 처리수의 이용, 각종 절수시스템의 채용 등에 의해 수자원의 소비 저감을 도모한다.

㉥ 신뢰성이 높고, 적정한 운전관리가 가능한 관리시스템의 구축에 의해 소비되는 에너지의 최소화를 도모한다.

4) 주변 환경 보전

주변 환경 보전 중 주변 환경 배려에 대한 수준은 소음 · 진동 · 풍해 및 광해의 억제 등에 의해 주변의 거주 환경의 보전에 배려하는 등 시설 주변의 환경에의 영향에 배려하고, 지역 생태계의 보전을 도모하고 종합적으로 환경부하를 저감하는 것으로 한다.

㉠ 광해의 발생원으로 되는 가능성이 있는 것을 적절히 예측하고, 이들이 주변 환경이나 주변 주민의 생활에 악영향을 미치지 않도록 건물이 입지하는 지역 주변의 조명 설치 상황 등에 따라서 적절한 조치를 강구한다.

㉡ 건물 배치, 외장재 등의 연구에 의해 일조 장해의 범위를 최소화한다.

㉢ 건물 배치, 외장재 등의 연구에 의해 전파 장해의 범위를 최소화한다. 또, 영향이 무시되지 않는 경우는 공동수신안테나의 설치 등 적절한 조치를 강구한다.

㉣ 건물로부터의 유해 물질(질소산화물, 탄산가스, 미립자 등)의 배출을 억제하는 등 주변 환경의 오염 방지를 도모하는 동시에 주변 환경의 악취나 열의 확산에 의한 영향을 경감하기 위해 설비기기, 시스템을 적절히 선정하고 적절한 조치를 설치한다.

(4) 내진 설계 지침

건축전기설비 내진설계 지침에 대해서 일본 건축기준법 시행령 제29조의 2의 4항(건축설비의 구조강도 등)에 준하여 일본공공건축협회에서 제정한 '관청시설의 종

합내진계획기준 및 동해설'이 있고, 일본전기협회에서 제정한 '변전소 등의 전기설비 내진설계 지침'이 있다.

일본전기협회에서는 '변전소 등에 있어서 전기설비의 내진설계 지침'을 제정하여 보급하고 있으며, 지진시에 전력설비의 장시간 또는 광범위하게 걸쳐서 전기공급 정지를 피할 수가 없기 때문에 변전설비의 내진 강도 등에 대하여 설계시 고려사항 등을 기술하고 있다.

또한, 일본전기협회에서 제정한 '고압수변전설비규정(高壓受變電設備規程)'에 의하면 별도의 '내진 대책'에 대한 자료가 반영되어 있으며, 고압수변전설비의 내진설계 방법은 지진입력을 설정하여 건축물 각 위치의 기기, 배관 등의 지지고정부재에 가하는 힘을 계산하고, 그 값이 지지고정부재의 허용응력도 내에 있는가 내력판정하는 것으로 지지고정 설계를 행하는 허용응력도 법을 이용하고 있다.

통상의 경우 설계는 기기 및 배관 등의 설치장소(층)에 의해 미리 산출한 지진력을 선정하는 방법(국부진도법)을 원칙으로 하여 채택한다. 건축물의 동적 해석을 행하는 경우에는 개별로 입력 산출을 행하는 방법도 좋다고 한다.

(5) 전기설비의 성능보증기간

건축전기설비에 대한 사항으로는 재무부령으로 '건물부속설비의 내용연수'에 대한 기준 자료를 제공하였으며, 전기설비 부문에서는 표 2.57과 같이 내용연수를 정하고 있다.

전기설비는 차단기, 변압기, 비상용발전기 등 장치 설비이며, 각 전기기기별로 공급하는 메이커가 있고, 관계하는 전기 단체 등이 있다. 따라서 각 전기기기별로 단체 규격이 있으며, 특히 전기기기의 성능 보증에 대해서는 단체 규격에서 성능화에 대한 내용과 하자에 대한 사항을 규정하고 있다.

표 2.57 전기설비의 법정 내용연수

전기설비 종류	세목	법정 내용연수
축전지설비		6년
기타 전기설비		15년
승강기설비	엘리베이터	17년

	에스컬레이터		15년	
소화, 배연, 자동화재탐지설비 및 격납식 피난설비			8년	
건물의 법정내용연수				
변전소, 발전소, 송수신소 등	구조물 종합 또는 개별 내용연수			
	철골철근 또는 철근콘크리트조	금속주	목주 또는 합성수지	몰타르조
	38년	31 < , 19년	17년	15년

다. 독일의 성능기준 현황

(1) 전기설비 관련 기준

IEC 60364(저압전기설비) 규격은 영국 규격(BS 7671 BSI)을 기본으로 독일, 프랑스 등 유럽 규격을 기본으로 하고 있으나 독일 DIN 규격과 일치한다고 보면 정확하다.

여러 국가가 사용하는 관계로 자세한 적용 사례나 구체적인 규명 명시가 불가능한 상황으로 내용 자체를 포괄적으로 기술하고 있다. 그러나, DIN 규격을 깊이 검토하여 여기에 구체적인 명시가 모두 제시되어 있다.

IEC 60364는 대체로 성능에 기초하고 있으며, 설계자, 설치자 또는 검증 기관이 직접 사용하도록 의도된 것이라기보다는 국가 배선 규정의 개발에 있어 지침으로 사용하도록 의도된 것이다. 기본 원칙은 전기의 사용으로 인하여 발생할 수 있는 여러 위험성에 대한 보호의 필요성을 다루고 있다.

- 유럽계 여러 국가 적용 → IEC 60364, IEC 61024(62305로 변경), DIN, BS를 주로 적용
- 유럽 산업의 국제경쟁력 강화에 적극 활용
- 연구개발부터 표준화와 병행, 시장 선점 추진
- 유럽 표준(EN)의 국제 표준 채택 강화
- ISO 및 IEC TC/SC 중 60% 장악

다음 표는 IEC 60364에 대하여 간단하게 요약 정리한 것이다.

표 2.58 IEC 60364의 항목별 특징 비교

항 목	IEC 60364
채 택	유럽 국가의 요구 사항을 기본으로 하여 주로 독일에서 작성 적용
개정 주기	지속적으로 기술위원회가 결정
요구 사항	강제적이나 권장 사항 및 권고 사항도 많이 포함하고 있음. 운용적이며 행정적임.
특정 상품 표준과의 관계	IEC 특정 상품 표준과 직접적인 연계가 있다.
구성 및 배치	보호소자로 조정(과전압, 열적 효과, 감정 등)
	교류 1,000V, 직류 1,500V로 제한
	구내 배선시스템을 다루고 있으나 아우트렛은 다루지 않음.
	위험장소에 관한 요구사항은 60364에 포함되지 않는다.(IEC 60079에 포함됨)
채택 적합성	설치 코드에 관한 개발 구조를 제공한다. 기본 원리는 13장에 포함되어 있다.
시행 적합성	국가가 갖는 고유 문서에 기본을 두는 문서로 만든 것
	강제적인 언어로 쓰였으나 추천 사항도 포함됨.
	소유자 및 시공자가 동의할 수 있는 몇 가지 조항을 준수함.
현재 사용하는 주 전압	유럽 - 240V 분기회로(높은 보폭 전압)
적용 접지시스템	TN, TNC, TNCS, IT 모두 포함. TT시스템도 허용

IEC 60364 규격들은 인입구부터 전류 사용기기의 아우트렛까지의 전기설비를 다룬다. 위험장소(폭발환경)의 설비는 별도로 IEC 60079 규격에서 다루어진다. 또한, IEC 60364는 그 적용 범위를 1,000V 이하 회로의 설비로 제한하고 있지만, NEC는 구내 설비에 대한 명확한 전압 한계를 정하고 있지 않다. 1,000V 보다 높은 전압에 대한 규정의 결여는 고층 건물설비의 경우 심각하게 고려되어야 할 사항이 될 수 있다.

제1부 제13장의 기본 원칙에는 설계, 전기 기기의 선정, 전기설비의 시공 및 최초 검증은 물론 감전, 열 영향, 과전류, 고장 전류 및 과전압에 대한 안전 보호가 포함되어 있다. 이들 기본 원칙은 훈련받은 사람들에 의해 알려진, 전기의 사용과 관련된 위험성을 다루고 있다. 관련 위험성에 대한 지식과 그러한 위험성에 대한 보호의 필요성에 대한 설명이 어떻게 보호가 수행되어야 하는가에 관한 보다 명확한 규정 없이는 인명과 재산을 보호하기에 충분하지 않을 수도 있다.

IEC 60364의 다른 부들에서는 위험성을 유발할 수 있는 조건과 제공되어야 하는 보호의 기준이 다루어진다. 어떤 조항들은 조언적 성격을 가지거나 권고 사항을 포함하고 있다. 획일적 적용에 적합한 국가 전기설비기준을 개발하기 위하여 규격들을 사용하는 경우에는 시간과 자원이 요구될 것이다.

IEC 60364의 번호 체계 및 구성이 IEC 60364 제1부의 부속서 A에 제시된다. 번호 체계와 최신 구성이 이 보고서의 부속서 A-2에 포함되어 있다. 일반적으로 IEC 60364 규격들은 기능별로 구성되어 있다고 말할 수 있다. 제1부에는 적용범위, 목적 및 기본 원칙이 포함되어 있다. 제2부에는 용어의 정의가 포함되어 있다. 제3부에서는 용도, 전원 공급 및 구조와 같은 일반 특성의 평가, 외부 영향의 분류, 호환성, 유지 보수성 및 안전 서비스를 다룬다. 제4부에서는 안전을 위한 보호를 다룬다. 다루어지는 위험성은 감전(직접 및 간접 접촉), 열 영향, 도체 및 케이블에 대한 과전류, 과전압, 부족 전압, 절연 및 개폐, 안전을 위한 보호 수단의 적용과 외부 영향의 함수로서의 보호 수단의 선택이 있다. 제5부에서는 전기기기의 선정 및 시공을 다룬다. 여기에는 공통 규칙이 포함되어 있으며, 배선 시스템, 스위치 기어 및 컨트롤 기어, 접지 배치 및 보호도체, 기타 기기와 안전 서비스가 다루어진다. 제6부에서는 검사를 다루고, 제7부에서는 욕실, 수영장, 사우나 히터, 건설 현장, 농업용 및 원예용 건물 구내, 제한된 도전성 장소, 데이터 처리 기기의 설비에 대한 접지 요구사항, 이동 주택 주차장 및 이동 주택의 설비, 정박지 및 레저용 선박의 전기설비, 의료 장소 및 관련 지역, 그리고 전람회, 쇼, 관람석 및 유원지의 전기설비와 같은 특수 설비 혹은 장소에 대한 요구사항을 다룬다.

(2) 설계, 시공, 감리에 대한 규정

독일은 감리에 대한 별도의 의무 규정은 없다. 전기공사업체가 독일 표준기준과

유럽규정, 독일 전기협회규정, 독일 보험협회 규정 등에 따라 시공을 하면 공사업체에 소속된 전기기술사(마이스터 : Meister)가 이상 없음을 확인하는 최종 서명날인을 하도록 규정하고 있다. 다음 그림은 독일의 VOB 규정에 준하여 발주, 계약되고 있는 개념도를 나타낸 것이다.

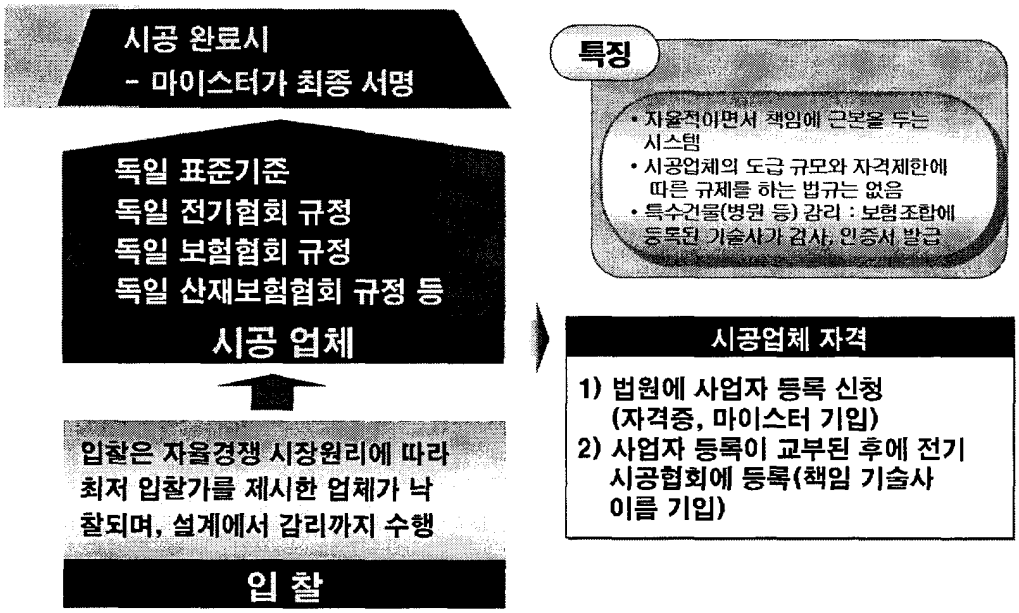


그림 2.29 독일의 전기공사 입찰, 계약 시스템

다시 말해서, 마이스터제도의 전통으로 개별 전문분야의 전문성이 뛰어나며 이를 인정하고 있다. 마이스터는 전기분야에 대한 해박한 지식과 경험을 갖추고, 교육기관에서 일정시간 교육을 이수한 뒤 설계 • 시공 • 감리자격을 부여받은 전기 전문가이다. 그러나 병원과 양로원과 같이 특수 용도로 사용되는 건물의 감리는 시공업체와 관계없는 독일 보험조합에 가입된 마이스터가 담당한다. 특수 건물의 감리를 할 수 있는 마이스터는 해마다 실시되는 보충교육을 이수한 기술사들로 점검시기가 일반 전기설비와 다른 의료용 설비의 점검주기를 자율적으로 설정, 감리할 수 있다.

독일 감리제도의 또 다른 특징은 마이스터에게 막강한 권한과 책임을 부여한다는 점이다. 마이스터의 권한은 전기공사업체 등록과정에서도 잘 나타난다. 독일에서는 공사업체 설립을 위해 법원에 사업자 등록을 신청할 때 시공, 설계 등 각 분야에 대한 자격증을 제출하면서 감리를 최종적으로 책임질 마이스터의 이름을 반드시

기입해야 한다.

이는 공사를 맡은 업체가 설계에서부터 감리에 이르기까지 권한을 갖고 전 과정을 수행하되, 사고 발생 시 업체와 마이스터가 형사, 민사상 책임을 지도록 함으로써 부실 공사를 사전에 막겠다는 의지로 풀이된다.

이와 같이 전기, 소방, 정보통신, 공조 등의 전문분야는 분리 발주하며(법적 의무 : VOB(Vergabeund Vertragsordnung fur Bauleistungnen : 건설공사 발주 및 계약규정)), 일괄 수주 후에 하도급을 할 수 없도록 되어 있다.[28]

(3) 독일 공공공사에 적용하고 있는 '건설공사 발주 및 계약규정(VOB : Vergabeund Vertragsordnung fur Bauleistungnen)

VOB는 3부분(VOB/A, VOB/B, VOB/C)로 구성되어 있으며, VOB/A는 건설공사 발주에 관한 일반 규정이고, VOB/B는 건설공사에 관한 일반 계약 조건이다.

세 번째 부분, VOB/C는 건설공사에 관한 일반 기술 계약 조건을 내용으로 하며, 개별적인 독일규격통일협회(DIN : Deutsches Institut fur Normung e. V.)의 표준규격의 형태로 되어 있다. VOB/C의 기술규정은 인정된 기술규정으로 공사 계약 시 VOB/B에 따르지 않고 민법상의 도급계약에 관한 규정에 따르기로 합의하였다고 하더라도 VOB/C의 기술규정은 근본적으로 적용된다.

(4) 직접 시공 의무화 관련 규정 현황[29]

(가) 직접시공의 개념과 범위

독일 건설업의 직접 시공 개념에는 자신의 관리 책임아래 투입된 자재, 인력, 장비 등이 모두 포함된다. 특히, 직접 시공에 해당하는 인력이란 자기와 고용관계를 맺은 근로자로서 이때 파견직 등은 제외하고 있다. 고용관계 유무는 고용보험증서, 세금납부내역 등을 통해 확인한다.

한편, 직접 시공의 범위에 대해서는 연방 건설교통부 VOB에 원칙이 명시되어 있고 각 발주기관이 내부 규정을 통해 대체로 30 < ~ 50%의 직접 시공 의무비율을 수급인에게 요구하고 있다. 이때 그 비율은 공사 금액을 기준으로 한다. 그리고, 대

28) 독일 건설공사 발주 및 계약규정, 한국건설산업연구원, 장은숙 역, 2004
29) 심규범, 독일의 직접 시공-성실한 업체의 수주 기회 확보에 기여, 건설저널, 2004.10

개 직접시공해야 할 분야를 특정하지는 않는다. 하지만, 중요한 핵심공정에 대해 하도급을 준다고 한다면 이 업체는 시공능력이 없는 업체로 분류되어 실제로는 수주하기가 어렵다고 한다. 또한, 공사금액 규모에 따라 직접 시공 의무비율을 차등적으로 적용하지도 않는다. 하지만, 초대형 공사의 경우 수주한 대형건설업체가 CM 역할을 포함한 제반관리만을 담당하면서 공사를 수행하기도 한다.

(나) 입낙찰 과정에서의 직접 시공 요구

독일의 직접시공 관련 규정은 연방건설교통부의 VOB에서 찾을 수 있다. 독일의 VOB는 A, B, C 세부분으로 구성되어 있는데, 그 중 건설공사 발주에 관한 A와 시공에 관한 B의 내용을 소개한다.

A 부분에서 공공발주의 대원칙으로 '건설공사는 전문적이고 시공능력이 있으며, 성실한 업체에게 적절한 가격으로 발주한다. 경쟁을 원칙으로 한다.'라고 규정하고 있다. 낙찰자를 선정하는 주요 기준은 다음과 같다.

첫째, 전문적인 시공능력이다. 관련 공법, 장비, 전문인력의 확보 상황을 파악한다. 또한, 목적물과 유사한 공사에 대한 과거의 실적을 확인한다. 둘째, 당해 프로젝트를 감당할 업체의 규모이다. 공사금액 규모에 대한 자본금 규모 등을 감안한다. 셋째, 업체의 성실성이다. 과거의 사회 보험료 및 세금 납부 내역 등을 확인한다. 이러한 세 가지 조건을 만족시키지 못하면 배제시킨다. 넷째, 가격의 적정성이다. 이것도 무조건 최저가를 제시한 업체가 선정되지는 않는다. Mulheimkarlich 시청의 경우 낙찰자를 선정할 때에는 회사의 규모, 종업원수, 직종별 구성, 과거의 시공실적, 과거 발주자의 평가, 설계사의 평가 등을 종합적으로 참조한다. 이외에도 세무실적, 사회보험료 납부실적, 직업공제조합(산재보험) 가입 상황 등을 살펴본다. 보다 직접적으로는 입찰 내역서에 자세한 내용을 규정한다. 입찰단계에서 원수급인뿐만 아니라 하수급인의 명칭을 기재하도록 요구하기도 한다. 하지만, 계약단계에서 하수급인이 변경되기도 하는데, 이 경에는 반드시 발주자의 동의를 얻어야만 한다.

(다) 재하도급 및 직접 시공 여부에 대한 감독

독일에는 직접적으로 재하도급을 금지하는 규정은 없다. 하지만, 실제 시공과정에서 재하도급을 허용하는 경우는 거의 없다. 도급단계가 많아질수록 공사비가 잠식되어 부실 시공이 발생할 가능성이 높아지므로 이를 발주자나 원수급인이 제한하기 때문이다. 부실시공이 발생한 경우 그 책임은 결국 원수급인의 몫으로 남게 되므로 특수한 경우가 아닌한 원수급인이 하수급인의 재하도급을 허용하지 않는다.

직접 시공에 대한 감독은 발주자가 건설현장에서 직접 수행한다. 독일의 경우 발주자가 건설업체에 대한 감독 능력을 보유하고 있어 감독자가 현장에 상주한다. 예외적으로 대규모공사의 경우에는 엔지니어 회사에 의뢰하여 감독자를 2 < 3명 더 배치하기도 한다. 직접 시공여부를 감독하는 핵심적인 방법은 입찰내역서 또는 계약서에 자세한 공사과정을 명시적으로 규정한 후 실제 시공과정에서 이것이 그대로 시행되는지 체크하는 것이다. 즉, 현장에서의 체크리스트는 입찰할 때 건설업체가 제시한 내역서이다.

따라서 현장에서의 감독이 성공적으로 이루어지기 위해서는 보다 자세한 규정이 필요하다고 한다. 자재나 장비의 경우 큰 위반이 없으나 투입되는 노동력의 경우에는 종종 위반사실이 발견된다. 이들은 외국인력이거나 사회보험료를 납부하지 않는 불법 노동이다. 따라서 세무서류나 사회보증서 등을 확인하여 통제한다. 현장에서 이러한 불법 노동이 발견될 경우 1차적으로 원수급인의 책임이다.

(라) 시공 책임과 직접 시공의무화의 의의

독일에서는 공공 공사 계약의 경우 주로 VOB/B의 규정에 따르되, 하자보수 책임기간을 5년으로 하는 경우가 많다. 하지만 수급인이 공사에 대한 품질조사를 철저히 하지 않고 하자 또는 결함을 간교하게 고의적으로 속인 경우에는 하자보수 책임기간이 30년에 달한다는 원칙이 판례를 통해 정립되어 있다(뒤셀도르프 고등법원 1999, 1021 : 함 고등법원 1999, 767 : 브란덴브루크 고등법원 1999, 1191 등). 출장에서 만난 건설업체 담당자들은 하도급에 의해 시공할 경우 하자 위험이 증가하고, 이것이 결국은 원수급인의 몫으로 돌아온다고 말한다. 예컨데, VDW라는 일반 건설업체 담당자는 도로공사의 경우 다양한 공종이 중첩되어 하도급에 의해 공사가 수행될 경우 하자가 발생하면 이것이 누구의 책임인지 모호해지는 경우가 많기 때문에 하도급을 주는 것이 매우 조심스럽다고 한다. 수주 가격이 낮은 하도급업체 일수록 근로자들이 책임감과 숙련도가 낮아 공사기간이 늘어지거나 하자의 발생이 많고 업체 자체가 도산해 없어지는 경우가 많다. 이 경우 결국 원수급인이 하자보수를 떠안을 수밖에 없게 되므로 장기적으로 보면 자기 사람을 투입해서 직접 시공하는 것이 훨씬 경제적이라고 한다.

독일 공공 발주자와 건설업체의 논지를 요약하면 연방 차원에서 수급인이 직접 시공하도록 한 규정은 두 가지 측면에서 매우 중요함을 알 수 있다.

첫째 : '목적물의 품질 확보'를 보다 확실히 하기 위해 필요하다. 직접시공의 의무가 주어지지 않는다면 목적물의 품질을 보장할 수 없기 때문이다.

둘째 : 만일 직접시공 규정이 없다면 수주한 공사를 모두 하도급할 생각으로 실질적인 시공능력이 없는 건설업체가 지나치게 낮은 가격에 입찰할 수 있다. 이 경우 적정 가격을 써낸 성실업체가 배제당할 수 있다. 결국 직접시공 의무화를 통해 시공에 필요한 인력과 장비를 실제로 보유한 업체에게 수주기회를 부여하게 되는 셈이다.

(마) 직접 시공에 따르는 인건비 부담 경감

상술한 바와 같이 독일의 경우 건설 생산물의 품질과 성실업체의 수주 기회를 확보하는데 직접 시공의 의무화가 크게 기여한 것으로 평가되고 있다. 하지만, 독일의 건설현장에 직접시공 관행이 정착하는 데에는 그에 따르는 인건비 부담을 경감하는 조치가 있었음을 놓쳐서는 안 된다.

독일의 인건비 부담은 매우 크다. 건설 수공업자 단체의 자료에 의하면 2004년 현재 자격증을 보유한 전문 노동자를 기준으로 할 때 시간당 42.18유로의 노동 비용이 소요되는 것으로 분석된다. 그 중 근로자에게 지불되는 임금은 14.15유로인데 비해 사회보험료, 세금 등이 11.23유로를 차지한다. 실제 출장에서 만난 독일 건설업체의 담당자들은 건설현장의 특성에 걸 맞는 인건비 부담 경감방안이 없다면 사람을 해고할 수밖에 없을 것이고 직접 시공도 어려웠을 것이라고 토로한다. 독일의 건설사업주들이 매우 중요하다고 언급하는 생산 중단 시기의 인건비 경감 조치는 동절기 휴업 수당과 탄력적 근로시간제이다.

독일에는 1958년에 제정된 「악천후 수당에 관한 법률」에 의거 건설현장에서 11월 1일부터 3월 31일까지 해고를 금지하는 대신 그 기간 동안의 노동비용을 분담하는 제도가 있었다. 이것이 1996년 일시적으로 폐지된 이후 동 법률이 일시적으로 폐지되었다가 부활한 이후 명칭을 '동절기 휴업수당'으로 개칭하였다. 이 제도에 의하면 동절기에 기후적 요인으로 일을 못할 경우 최초 1~30시간은 근로자가 축적한 AZ Konto(초과 근로수당 적립금의 명칭)로부터 임금을 보전받는다. 그 다음 31~100시간에 해당하는 70시간분은 사업주들이 평소에 임금의 1%에 해당하는 금액을 축적한 사회복지기금(건설업에 고유한 기금으로서 훈련 비용이나 기타 복지기금으로 활용)에서 지불한다. 그리고 이후 101시간 초과분에 대해서는 고용보험에서 실업급여 수준의 동절기 휴업수당을 지급한다.

한편, 독일의 건설사업주들이 중요시하는 또 다른 조치는 1년 단위의 탄력적 근로시간제이다. 이것은 1997년에 노사 합의를 통해 제도화된 것으로서 1년간 150시간이내의 초과 근로에 대해 수당 지급을 유보하고, AZ Konto에 적립하였다가 동절기에 지급하는 제도를 말한다. 이 경우 동절기 생산 중단 기간의 100시간분 임금을 모두 여기에서 지급한다. 이것은 수주 여부 또는 날씨로 인해 근로 시간이 불규칙해지는 데서 오는 인건비 부담을 더는 데 큰 기여를 하고 있다. 사업주 입장에서는 사회보험료, 상여금 등 정규임금 이외 비용의 20%를 절감하는 효과를 보았다고 한다. 특히, 유럽 통합이후 동유럽에서 값싼 노동력이 유입되면서 독일 건설업체의 가격 경쟁력이 약화되는 상황에서 탄력적 근로시간제는 독일 건설사업주의 가격 경쟁력 유지에 큰 도움을 주었다고 한다.

(바) 생산물 품질 확보와 성실업체 육성 가능

독일의 사례는 건설업체의 직접 시공을 통해 생산물의 품질 확보와 성실업체 육성이라는 목적을 달성할 수 있음을 시사한다.

첫째, 입찰내역서를 세부적으로 규정하고 이것이 실제 시공과정에서 그대로 실현되도록 해야 한다. 둘째, 실질적인 시공 능력보유업체를 가려내는 낙찰자 선정기준을 마련해야 한다. 셋째, 세부적인 입찰내역서를 활용해 현장 감독을 실시하여야 한다. 넷째, 고의적인 하자에 대한 엄격한 책임 추궁을 통해 부실업체의 참여를 막고 성실 시공을 유도해야 한다. 다섯째, 가격 경쟁력 유지와 고용 안정을 위해 생산 중단시기의 노동 비용 경감방안을 마련해야 한다.

(사) 중소건설업체 보호제도 : 전문분야 또는 업종에 따라 분리 발주

독일의 공공공사 발주에 관한 규정은「건설공사 발주 및 계약규정(VOB : Vergabeund Vertragsordnung fur Bauleistungnen)이다. 독일의 공공공사 발주방식은 기본적으로 소규모로 분할하여 발주하는 분할발주(Teillose)와 전문분야 또는 업종에 따라 분리하여 발주하는 분리발주(Fachlose)가 원칙이다.

또한, VOB는 지역 업체에 대해 혜택을 주는 것을 금지하고 있다(VOB/A 제1단락 제8조). 그러나 소규모 공사의 경우(15만 유로 미만)에는 제한 경쟁 입찰을 실시하여 실질적으로 지역 업체에 대해 입찰기회를 확보해 주고 있다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 도로포장분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 제시

1. 도로포장분야 성능기준 작성지침 개발 개요

도로포장에 대한 성능기준은 크게 시공기준의 개발 및 이와 관련한 계약제도의 도입으로 이루어진다. 따라서 도로포장분야의 성능기준 작성을 위한 지침은 시공기준을 중심으로 작성해야 한다.

도로포장 성능기준을 위해 도입해야 하는 시공기준은 지불규정(Pay Factor) 개발 분야와 품질보증기준(Warranty Spec) 개발 분야로 이루어지며, 물론 포장의 형식별로 각각의 기준을 개발해야 한다. 그러므로 성능기준 작성을 위한 지침은 크게 세 가지 분야로 나누어서 작성되어야 한다. 첫 번째는 성능에 근거한 지불규정, 성능에 근거한 품질보증기준, 그리고 이를 실무에 적용하기 위한 계약제도 부분이 그것이다.

성능기준 작성 지침에서 성능 중심의 지불규정 부분에서는 포장 형식별로(콘크리트 포장, 아스팔트 포장) 구분하여 성능을 평가하기 위한 인자(밀도, 두께, 평탄성 등)를 우선 선정해야 하며, 준공 시 이들 성능 인자를 평가하기 위한 실험 기준 및 측정 기준 등이 제시되어야 한다. 또한 준공 현장에서 얻어진 이들 인자 값의 변동에 따라 지불규정의 정도를 결정하기 위한 방법론이 언급되어 있어야 한다.

또한 성능에 근거한 품질보증기준 부분에서는 포장 형식별로(콘크리트 포장, 아스팔트 포장) 구분하여 품질보증을 위한 성능 기준 인자(소성변형, 균열 등)가 선정되어야 하고, 이런 성능 기준 인자는 어떤 기준으로 어떤 방법으로 측정해야 하는지에 대한 관련 기준이 작성되어야 하며, 또한 어떤 기관 또는 누가 이러한 성능을 언제 측정하는 지 등에 대한 기준이 언급되어 있어야 한다. 이외에도 품질보증기준을 도입할 때 검토해야 할 제도적 기술적 문제점 등을 별도로 언급하고, 계약 당사자 간에 분쟁이 발생하였을 때의 해결 방안 및 품질 보증에 대한 예외 규정 등을 구체적으로 언급해야 한다.

계약제도 부분에 대해서는 기존 계약제도와 (지불규정 및 품질보증기준의 도입에 따른)새로운 계약제도와의 차이점 및 배경 등이 제시되어야 하며, 새로운 계약제도를 도입할 때 기술적, 행정적 측면에서 어떠한 사항이 언제 어떻게 포함되어야 하는지, 누가 주관이 되어 실시해야 하는지 등이 단계별로 구체적으로 검토되어야 한다.

부가적으로 이러한 성능기준이 도입됨에 따라 개정되어야 하는 지침 및 관련 규정, 법규 등이 어떤 것이 있는지 등 운영 보급 등 실용화에 대한 검토가 필요하다.

2. 도로포장분야 성능기준 작성지침 일반사항

가. 지불규정(초안)의 구성

1. 개 요
- 가. 공사개요
- 나. 용어의 정의

2. 계약관련규정

3. 인력관리
- 가. 혼합작업
- 나. 시료 채취 및 시편 제작
- 다. 시험 일반
- 라. 지불규정 적용

4. 시료 채취(인자별)
- 가. 적용범위
- 나. 참조규격

5. 시험 방법(인자별)
- 가. 아스팔트 함량
- 나. 밀도
- 다. 입도
- 라. 두께
- 마. 평탄성
- 바. 시험 빈도

6. 지불규정 적용

가. 확인 절차(Verification)

나. 시방한계의 산정

다. PWL의 산출

라. Pay Factor의 산정

마. Payment 결정

7. Payment 제소에 관한 규정

나. 품질보증기준(초안)의 구성

1. 개요

가. 일반개요

나. 용어의 정의

2. Warranty Bond

3. 분쟁의 조정

4. 포장파손의 조사 및 모니터링

5. 각주체의 권리와 의무

가. 발주처

나. 시공사

6. Acceptance (Assurance)

7. 보수(Corrective Action Requirement Criteria), 관리기준값 (Threshold Values)

8. 긴급 보수

9. Corrective Action

10. Preventive Maintenance

11. Method of Measurement

12. 지불

다. 지불규정 작성방법 예시

(1) 설명

- 적용범위 및 요구된 공사 설명

(2) 인자선정

- 포장성능 대표 인자 정의

(3) 성능인자의 측정 및 적용

- 평가방법 근거 논리 제시
- 각 인자별 평가방법 및 기준치 정립
- 측정 결과의 적용 방법 설명

(4) 지불규정(Pay Factor)

- 국내실정 조사/분석 통한 지불규정 근거 정립
- 지불규정의 제시

(5) 지불방식(Payment)

- 지불방식(보너스, 패널티 포함)의 설명

(6) 분쟁 해결(resolution)

- 평가결과 및 지불규정에 관한 이의제기 및 분쟁조정 절차 설명

(7) 계약자 의무사항

- 재료 및 공법 선정
- 준공시 허용기준에 만족하는 성능 확보
- 제3자기관 또는 발주자의 평가에 의한 지불규정에 따름
- 계약상 재시공, 보수 등 포장성능 개선이 명기된 경우 이의 수행
- 품질관리 계획 및 데이터 수립 및 제출

(8) 발주청 의무사항

- 최종성과품 성능 평가방법 결정
- 제3자기관 등을 통한 최종성과품 성능평가 시행
- 계약상 지불규정(Pay Factor)에 따른 보너스, 패널티의 지급 시행
- 새로운 재료 및 공법에 대한 적절한 평가기준 마련

라. 품질보증기준 작성방법 예시

(1) 초기 교통 개방 기준

- 일반적으로 감독기관과 시공기관은 최소한의 품질기준 작성, 합의

하에 최소한의 품질기준 확인 후, 교통 개방, 품질보증기간 시작

(2) 보증보험의 규모

- 품질보증기간과 연계하여 보증보험의 규모 명시

(3) 감독기관의 책임과 권한

- 품질보증기간 중 파손 긴급 유지보수 재료 및 공법 승인, 일상적인 유지보수 시행, 긴급 보수시 유지보수 수행 제3의 기관 참여, 포장 공용 상태 기준값 미달시 시공사에 통보

(4) 공용성 기준

- 성능기준으로 판단해야 할 포장 형식별 파손 및 기능 형태 규정
- 측정 단위, 주기, 주체, 유지보수를 해야 하는 파손 정도 등 결정
- 아스팔트 포장의 예
  - 종/횡방향 균열(시공줄눈 포함)
  - 소성변형
  - 종단평탄성
  - 포트-홀(Pot-Hole)
  - 미끄럼 마찰저항
  - 소음 특성 등

(5) 시정조치 요구사항

- 성능인자(포장파손)에 대한 시정조치의 결정
  - 시정조치의 시행 시기(일반, 긴급 등)

(6) 분쟁해결절차

- 보증기간 중 포장 파손의 원인, 유지보수 시기 등에 대한 분쟁 발생 대비 가칭 "분쟁조정위원회" 운영절차

(7) 운영방안

- 국가 또는 지정기관 운영지침에 따라 주기적 포장상태 조사, 자료 분석 등 필요
- 품질보증제도 운영지침 완성 필요

마. 시범사업 실시를 통한 성능기준 적용성 검토

(1) 시범사업의 목적

① 성능기준 현장 적용성 검토 및 수정/보완

② 성능기준 제도 시행 시 예상되는 문제점에 대한 해결책 마련

③ 제도 시행 관련 주체(발주자, 시행자 등)에 대한 현행 제도와 다른 성능중심의 발주방식에 대한 인식 확대 및 의견수렴

④ 성능기준의 효율적인 현장 도입방안 검토

(2) 시범사업의 실시 : 2차에 걸쳐 수행

① 1차 시범사업 : 기존계약체계 유지, 성능기준(안) 가상적용

- 성능기준(안)의 현장 적용 시 문제점 도출 및 수정/보완

② 2차 시범사업 : 발주~계약에 이르는 전체 과정에 실제적용

- 1차 시범사업 결과의 평가, 보완 후 실제 적용

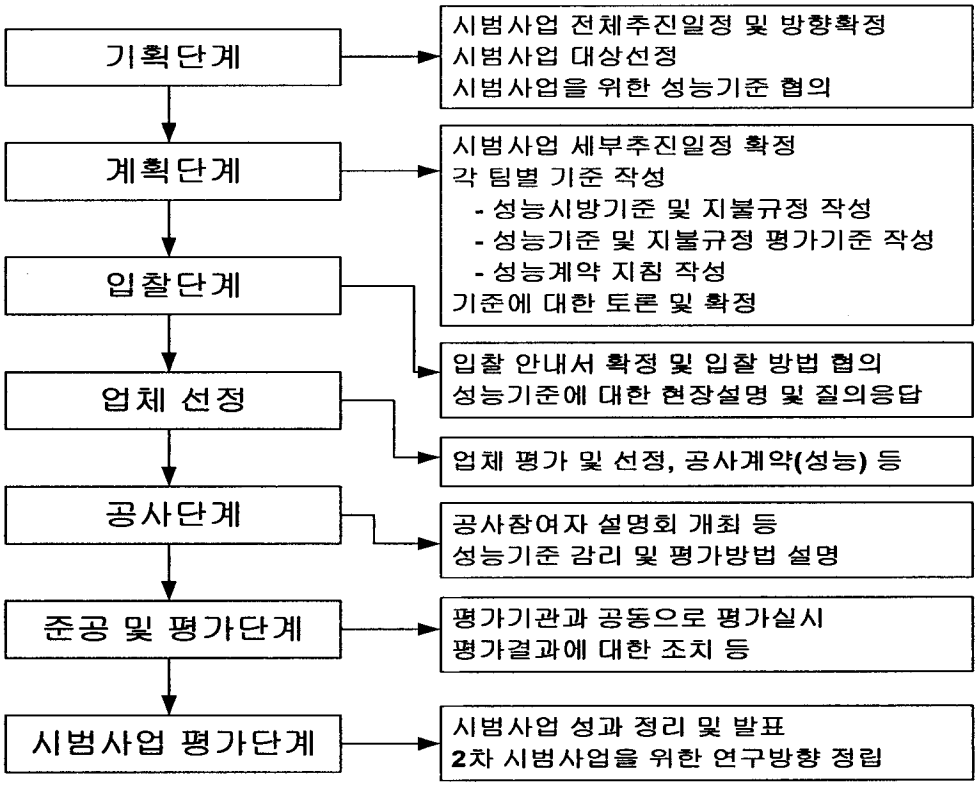


그림 3.1 1차 시범사업의 추진계획

바. 시범사업 운영방안

① 지불규정(초안) 적용

- 아스팔트 포장 표층에 한하여,
  준공 시 지불규정 성능인자 평가 후 지불규정 가상 적용
- 성능인자 : 바인더 함량, 밀도, 공극률, 입도, 두께, 평탄성 등

② 품질보증기준(초안) 적용

- 아스팔트 포장 표층에 한하여,
  준공 후 3년간 주기적인 성능인자 평가 및 품질보증제도 가상 적용
- 성능인자 : 소성변형, 균열, 평탄성 등

③ 적용 및 사후 검토/평가 시 고려사항

- 사전 기술지도 실시 등을 통하여 최적의 성능이 구현되도록 함
- 기준을 만족하지 못하는 성능인자에 대한 검토/대안 제시
- 발주자, 시행자 등 관련 주체의 의견 청취를 통한 보완 실시

사. 성능기준 실용화 및 운영방안

① 간담회 및 토론회 설문 등을 통한 의견수렴

- 발주자, 설계 및 시공자, 감리/감독 등 실시 관련 주체 및 재정경제부, 조달청 등 유관기관 의견청취/조율을 통해 실질적인 제도화 추진

② 지속적인 사후 관리 및 연구/보완

- 시범사업 추적조사를 통한 효과분석 및 검토
- 공정한 성능평가 및 분쟁 조정을 위한 기관(또는 위원회) 선정
- 신재료, 신공법에 대한 성능평가 방안
- 기존 사양기준제도와의 병행추진에 관련한 조정 방안
  ex) 성능기준 도입에 대응 불가능한 영세업체의 관리/유도 방안 등

③ 교육 및 홍보활동 실시

- 실제 도입 이전부터 지속적인 홍보활동(건설교통부 주관)
  · 실무자를 위한 홍보자료(팜플렛, 교재 등) 작성/배포
  · 국외 사례 등 예상되는 효과, 성과에 대한 민간 홍보 검토
- 성능기준 도입 시 설명회, 실무자 교육 등 실시

· 완성된 성능기준 및 관련 제도 제·개정에 관한 지역별 설명회

· 발주처 담당자 및 설계, 시공, 감리자에 대한 지역별 교육

- 도입 후 지속적인 추적조사, 효과분석 실시

· 도입효과에 대한 홍보를 통해 제도 정착 가속화

3. 도로포장분야 시방서의 종류와 특징

가. 도로포장분야 국내 기준 현황

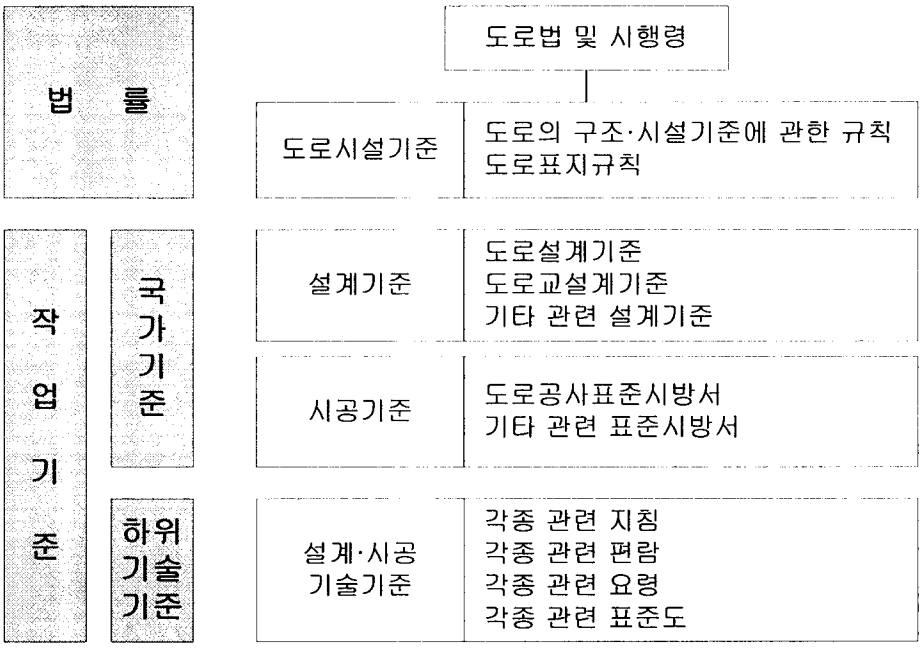


그림 3.2 도로시설 및 설계·시공 제 기준의 체계

표 3.1 도로설계 관련 각종 기준 현황(2003년 11월 현재)

기 준 서 명	제 · 개정연도	관리주체	발행기관
기 준(8종)			
· 도로설계기준	2001. 6	한국도로교통협회	도로국
· 도로교 설계기준	개정중	한국도로교통협회	기술안전국
· 콘크리트 구조 설계기준	2003. 5	한국콘크리트학회	기술안전국
· 강구조 설계기준	제정중	한국강구조학회	기술안전국
· 구조물 기초 설계기준	2002. 12 (개정본 발간예정)	한국지반공학회	기술안전국
· 내진설계기준	1998. 2	한국지진공학회	기술안전국

· 터널설계기준	1999. 2	대한터널협회	기술안전국
· 조경설계기준	2002	한국조경학회	기술안전국
지 침(17종)			
· 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침	2000. 3		건설교통부
· 도로안전시설 설치 및 관리 지침			
- 시선유도시설 편	2002개정		건설교통부
- 방호울타리 편	1996		건설교통부
- 과속방지턱 및 미끄럼방지포장 편	1997		건설교통부
- 중앙분리대 및 충격흡수시설 편	1998		건설교통부
- 교량용 방호울타리 및 조명시설 편	1999		건설교통부
- 장애인 안전시설편	2000		건설교통부
- 낙석방지시설 및 도로반사경 편	2000		건설교통부
- 차량방호 안전시설 편	2001		건설교통부
· 교량 설계·시공 지침	2001	한국건설기술연구원	건설교통부
· 도로교 하부 설계지침	1997	한국도로교통협회	건설교통부
· 강도로교 상세부 설계지침	1997	한국강구조학회	건설교통부
· 콘크리트 교량 가설 특수공법 설계·시공·유지관리지침	1994		건설교통부
· 도로포장 설계·시공지침	1991		건설교통부
· 도로표지관련규정집(규칙 및 지침)	2000. 10		건설교통부
· 농어촌도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침	1992		내무부
· 도시계획도로의 계획 및 설계 기준	1988		건설부
편 람(5종)			
· 도로설계편람	1999, 2000	한국건설기술연구원	건설교통부
· 철근콘크리트설계편람	1997	한국콘크리트학회	건설교통부
· 도로용량편람	2001		건설교통부
· 투자심사편람(수송부문)	1982		경제기획원
· 교통안전시설 실무편람	2000. 3		경찰청
요 령(3종)			
· 환경 친화적 도로 건설 요령	1998		건설교통부
· 강도로교 용접 및 도장요령	1998	한국강구조학회	건설교통부
· 아스팔트포장 설계·시공요령	1997		건설교통부
표준도(6종)			
· 도로부대시설 표준도	1998	한국도로교통협회	건설교통부
· 옹벽표준도	2003	한국지반공학회	건설교통부
· 암거표준도	2003	한국지반공학회	건설교통부
· 도로교 상부구조 표준도	1979	한국도로교통협회	건설부
· 도로교 하부구조 표준도	1979	한국도로교통협회	건설부
· 조립식 가교각 표준도	1975	한국도로교통협회	건설부

나. "공사 시방서의 발전과 적용을 위한 지침" 개요

다양한 형태의 시방서가 어떻게 개발되고 적용되는지에 대하여 크게 아래와 같은 시방서에 대하여 정리하고 있는 "공사 시방서의 발전과 적용을 이해하기 위한 지침"을 정리한다.

가. Method Specifications(방법 시방서)

나. End-Result Specifications(성과물 기준 시방서)

다. Quality Assurance Specifications(품질 보증 시방서)

라. Performance-Related Specifications(공용성과 연관된 시방서)

마. Performance-Based Specifications(공용성에 기초한 시방서)

(1) 방법 시방서(Method Specifications)

(가) 방법 시방서(Method Specification)의 정의

발주자가 모든 재료와 장비 그리고 시공절차 및 방법을 정하여 시공사에 요구하는 시방서

(나) 방법 시방서의 일반사항

1940년 이후 광범위하게 적용된 방법시방서는 일반적으로 각 공사기관에 책임과 의무를 부여한다. 일반적으로 이런 형태의 시방서는 다음과 같다.

- 구체적인 공사방법 및 재료의 사용이 명시된 설명서 제공
- 작업의 변경 시, 정밀조사, 샘플링, 및 시험 실시
- 시방기준에 대한 합리적인 만족 또는 실질적인 기준 준수에 기초하여 합격 여부 판단
- 품질에 상관없이 공사금액의 100%를 지불

방법 시방서는 시공 시 필요한 장비, 방법, 재료, 기술을 열거한다. 계약자나 생산자는 정확한 비율로 정해진 재료를 조합하는지와 규정된 방법으로 재료와 결과물을 위치시키기 위하여 정해진 형태의 장비와 방법을 사용하는지를 감독, 지시받게 된다. 사실 발주처는 시공자의 인력과 장비를 빌리는 것이다. 이러한 시방서의 형태는 창의적이고 혁신적인 공사개념을 인정하지 않는다.

방법 시방서는 현재까지 사용되고 있으며, 기존의 방법 시방서에서는 품질평가 시험이 거의 없거나 전혀 시행되지 않았다. 방법 시방서의 합격 기준은 합리적으로 제정되어 있지 않고, 공학적인 품질기준이 없고 임의적이며 주관적이다. 따라서 방법 시방서를 통해서는 일관된 성과물을 기대하기 어렵다.

오늘날의 방법 시방서는 예전에 비하여 많은 시험을 실시하도록 되어있지만, 개개의 현장샘플의 시험결과에 의지하며, 보통 최대값과 최소값만이 명시되어 있는 시방서의 기준에 따라 검사하여 시공재료 고유의 변동성을 무시하고 있기 때문에 시험결과가 실패로 판명나는 경우 그 원인과 범위를 정확히 결정하기 어렵다. 종종 한 개의 샘플로 결과물의 합격 여부를 결정해야 하는 딜레마에 직면하게 된다.

방법 시방서는 일반적으로 시방서에 명시되지 않은 재료의 사용으로 인하여 계약 가격이 어떻게 조정될 수 있는지 알 수 없다. 마찬가지로 방법 시방서는 시공자가 시방서의 요구보다 좋은 품질의 결과물을 생산하는 것에 대한 특별한 보상은 없다. 방법 시방서에서, 계약자는 품질 수준에 관계없이 공사가 완료되면 100%의 공사 금액을 받게 된다.

(다) 방법 시방서의 단점

현재까지도 많이 운영되고 있는 방법 시방서의 주요한 단점은 다음과 같다:

- 발주기관이 시공사의 공사운영단계를 조절한다.
- 경제적이고 혁신적인 공법의 적용이 불가능하다.
- 재료에 대한 합격 여부는 실용적인 적합성 조사를 기본으로 한다.
- 현장표본조사에 근거하기 때문에 발주자와 계약자간의 분쟁의 소지가 있다.
- 지불금은 결과물의 품질과 장기 공용성에 무관하다.

(2) 최종 성과물 시방서(End-Result Specifications)

(가) 최종 성과물 시방서의 정의(1958년 AASHO 시험도로)

전체적인 시공 과정에 대한 책임을 계약자에게 부여하기 위한 시방서이다. 마지막 결과물에 대한 합격과 불합격 또는 시방서에 따른 등급에 대한 적정 가격 적용은 기관의 책임이다.

(나) 최종 성과물 시방서의 일반사항

- 시공과정과 장비의 사용에 대한 계약자의 책임과 범위를 지정한다.
- 전체적인 QC 샘플링, 시험, 조사는 계약자와 생산자의 자유재량으로 남겨진다.
- 기관의 합격 기준은 결과물의 샘플링과 검사를 기본으로 한다.
- 시방기준에 적합한 등급을 기본으로 하는 적정 가격의 결정

최종 성과물 시방서에서, 계약자나 시공자는 최종 결과물과 시공 품목에 대한 전체적인 책임을 진다. 이러한 형태의 시방서는 계약자가 새로운 기술 개발과 작업 수행 과정, 결과물의 품질 개선을 위하여 다양한 옵션을 적용할 수 있다는 유연성 갖고 있다. 사실, 최종 성과물 시방서는 사용되는 재료와 결과물 안의 재료들의 혼합 방법에 대한 제한이 없다. 이것은 좋은 고려사항이지만, 본래의 결점으로 인하여 보다 더 이상 중요하게 여겨지지는 않는다.

최종 성과물 시방서는 합격여부 판단을 위한 샘플링과 검사를 강조한다. 이 시방서는 결과물을 합격시키거나 불합격시키고, 적합하지 않은 등급에 관한 설명으로 벌점 시스템을 적용한다. 실제로, 이러한 시방서를 시행하는 것은 어렵고, 공학적 고려보다는 법률적인 과정과 개념이 더욱 연관성을 갖는다.

종종 문제가 되는 것은 방법 시방서와 최종 성과물 평가를 위한 시험을 결합하는 것이다. 이것은 잠정적으로 매우 쟁점이 되고 위험한 것이다. 계약자가 무슨 장비를 어떻게 사용하는지를 지시대로 한다면, 최종 성과물은 결과물이 가장 중요하고 , 결과를 바로 분석하고 평가하게 된다.

(다) 최종 성과물 시방서의 단점

일반적으로 최종 성과물 시방서의 단점은 다음과 같다:

- 품질 조정에 대한 책임소재가 종종 명확히 정의되지 않는다.
- 합격 기준의 결정은 제한된 시험의 결과와 적절한 증명을 제공하지 않는 현장 결과물의 결과, 재료의 수정을 기본으로 하고, 이는 합격할 만한 재료를 불합격 시킬 수 있다.
- 시방서의 적절한 값과 제한은 종종 사실에 바탕을 둔 데이터의 분석보다 주관적인 경험에 기초한다.

(3) 품질 보증 시방서(Quality Assurance Specifications)

(가) 품질 보증 시방서의 정의

처음에 통계에 기초한 시방서로 불리던 품질 보증 시방서는 1960년대에 사용되기 시작하였다. 품질 보증 시방서는 다음과 같이 정의 된다.

결과물과 결과물의 생산에 따른 여러 활동에 대한 계약자의 품질 조절과 기관의 합격 기준을 요구하는 시방서이다. 최종적인 결과의 합격 기준은 일반적으로 기본적인 품질 특성에 대하여 측정된 품질 수준의 통계적인 샘플링 작업에 기초한다.

(나) 품질 보증 시방서의 일반사항

품질 보증 시방서는 계약자와 기관의 신뢰성을 명확하게 기술하고 측정된 시공 품질 수준에 대한 보상을 결정하기 위한 좀 더 합리적인 형태이다. 품질 보증 시방서는 다음과 같다:

- 재료 고유의 변화를 인정한다.
- 품질 조정(QC)의 샘플링과 시험, 계약자에 관한 조사를 지정한다.
- 기관에 의한 조사와 합격된 샘플링과 시험을 포함한다.
- 합격을 위해 측정된 특유의 품질 특성을 확인한다.
- 결과의 품질 수준과 적절한 가격을 제공한다.

품질 보증 시방서는 과정과 결과의 변동성을 인식하여, 재료 또는 시공의 종합적인 품질을 최상으로 이루어내기 위한 합리적인 수단을 제공하기 때문에 실용적이고 현실적이다. 건설에 대한 품질 보증 시방서는 미 국방부(Military Standard 414)로부터 추진된다. 오늘날 우리가 인식하는 것처럼, 이것은 품질 보증 시방서의 서문(소개)이다. 이러한 형태의 시방서는, 시방 기준에 적합한 등급을 좀 더 현실적으로 평가하기 위하여 제공되는, 표준 변화성에 대한 증명된 수학적 가능성과 통계적 원리에 기초한다.

품질 보증 시방서 하에서, 계약자는 품질 조절(QC)에 책임이 있고, 교통 기관은 결과물의 합격에 대한 책임이 있다. 품질 조절 샘플링과 시험, 생산자와 계약자의 수작업에 의한 조사에 대한 책임은, 제품과 생산 결과물(가전제품, 전기제품, 자동

차, 비행기, 음식 등)인 실질적인 모든 다른 사업적 관점에서 요구되는 것과 상응한다. 기관 기술자와 조사자는 계약자의 QC 활동을 감독해야 하고, 샘플링과 시험, 조사에 대한 책임 또한 여전히 가지고 있다. 기관은 좋은 공용성을 위한 재료적 특성(QC)이 무엇인지, 교통 시설물의 설계수명 이상의 좋은 공용성을 보장하기위한 재료와 작업 범위내의 제한이 무엇인지를 결정해야 한다. 이것은 재료 공학적 관점을 요구한다. 아스팔트 포장(HMA)에 관하여, 측정될 수 있는 좋은 공용성을 위한 두 가지 중요한 QC의 예는 다짐 후 포장의 밀도와 평단성이다. 콘크리트 포장과 구조에 관하여, 압축 강도와 공극과 평탄성을 사용할 수 있다. 좋은 공용성을 위하여 측정할 수 있는 토양의 특성은 현장의 밀도와 입도를 포함할 수 있다.

품질 보증 시방서는 측정된 결과의 변동성(variability)의 수학적 판단에 기초하여 적정한 가격을 결정한다. 일반적으로, 품질 보증 시방서는 다음을 포함 한다.

- 더 나은 품질의 작업을 위한 증가된 지불(일반적으로 101~105%).
  (일부 기관은 110~115%)
- 떨어지는 품질의 작업을 위한 감소된 지불(일반적으로 0~99%)

최소 품질 수준보다 이하의 수준으로 판정된 작업은 일반적으로 기관에 의해 불합격되어, 지불의 감소와 철거, 재시공 또는 몇 가지 다른 수정 행위에 영향을 끼칠 수 있다.

(다) 품질 보증 시방서의 장점

- 품질 보증 시방서는 무작위 샘플링과 제비뽑기 시험을 사용하는 시방서를 기본으로 하는 수학적 확률이다.
- 품질 보증 시방서는 계약자의 운영이 실시간으로 만족스러운 결과를 만들어 내는지를 파악하게 하여 준다.
- 품질 보증 시방서는 지켜져야 하는 개개의 측정값과 시험 결과의 비율을 언급하지 않는다(수학적 확률로 접근하기 때문에, 이것은 중요한 차이점이 아니고, 개개의 측정값이 가장 명확하지 않다. 그것은 전체적인 경우의 수 안의 여러 가지 측정값으로부터 얻어진 정보이며, 이는 중요하다).
- 품질 보증 시방서는 수학적 확률의 원리와 지역 재료의 실재 변동성을 기초로 얻어지는 허용한계를 사용한다.
- 품질 보증 시방서는 각각의 품질 특성에 대하여, 합격 기준이 되는 명기된 제한의 범위에 드는 재료의 비율을 명기한다.

- QA 시방서는 양질의 작업을 위해 증가된 비용을 적용하고 떨어지는 품질의 작업을 위해선 감소된 비용을 적용하는 합리적인 절차를 제공한다.

(4) 공용성 연계 시방서(PRS)

(가) PRS의 정의

지난 1980년대 이래로, 교통 시공 시방서의 발전은 공용성 연계 시방서의 개발에 초점을 맞추어 왔다. Florida DOT, FHWA, NQI에 의하여 수행된 2000년 5월의 workshop에서 공용성 연계 시방서의 정의를 다음과 같이 내렸다.

공용성 연계 시방서는 품질 특성(QC)과 생애 주기 비용(LCC)의 관계를 측정하기 위하여 사용되고, 결과물의 공용성과 서로 연관된다.

(나) PRS의 일반사항

단순하게 표현하면, 공용성 연계 시방서는 개선된 품질 보증 시방서이다. 주요 특징은 다음과 같다:

- 공용성 예측을 위한 기본적인 공학적 특성과 관련하여 발견되는 주요 품질 특성을 기초로 하는 합격 기준
- 주요 재료와 시공 품질 특성과 공용성 사이의 관계를 측정하는데 사용되는 수학적 모델
- 시공된 교통 시설물의 기대되는 생애 주기 비용(LCC)과 관련된 적정한 가격

PRS는 측정된 재료적 속성(품질 특성)과 적절한 현장 결과물의 공용성을 연관지으려고 한다. 그러나 일반적인 품질 보증 시방서와 마찬가지로, 시공 중에 측정된 품질 특성만을 명기하고, 요구되는 장기 공용성은 명기하지 않는다. 교통 시설의 장기 공용성과 관련된 몇 가지 품질 특성(예)은 다음과 같다.

- 아스팔트 포장의 현장의 전체 공극률 또는 평탄성
- 콘크리트 포장의 투수성 또는 강도

이러한 특성들은 시공 중 실시하는 샘플링과 품질시험에 적합하다. 사실 PRS는 품질기준의 특성을 묘사할 뿐만 아니라, 공용성을 예측하기 위하여 측정된 결과를 사용한다. 측정 모델의 사용은 PRS와 다른 시방서를 구별하는 특징이다. 모델은 공

학자의 판단과 직관을 통해 예상될 수 있는 것보다, 측정결과가 성과물의 공용성에 얼마나 영향을 미치는지에 관한 명확한 제시를 기본으로 한다. SHRP와 FHWA, NCHRP에 의하여 수행된 최근의 연구는, 측정결과와 공용성을 연관지어서 시방서에 도입하는 것이 가능하다는 것을 보여주고 있다. PRS는 다음의 두 가지 형태의 모델을 포함 한다:

- 공용성-예측 모델
- 유지보수-비용 모델

공용성-예측 모델은, 도로포장과 같은 시공 결과물이 피로 균열과 joint spalling 과 같은 파손 형태를 언제 그리고 어느 수준으로 나타날지를 예측한다. 유지보수 비용 모델은, 설계수명 동안 결과물의 유지보수와 복구비용과 같은 생애-주기 비용을 평가한다. 이러한 모델에 대한 입력 변수는 설계의 다양성(교통 하중, 기후 인자, 배수, 흙의 요소 등과 같은)과 품질 특성(바인더 함량과 공극, 콘크리트 투수성 또는 강도, 평탄성 등과 같은)을 포함한다.

이러한 모델은 합리적인 합격기준과 지불 조정 결정의 기초가 된다. 지불 조정은 두 가지의 다른 생애-주기 비용의 결정에 의하여 결정 된다:

- 설계기준 생애-주기 비용
- 시공기준 생애-주기 비용

설계기준 생애-주기 비용은 모델의 입력변수로써 명기된 품질 특성값을 목표로 사용함에 따라 결정된다. 시공기준 생애-주기 비용은 입력변수로써 시공 프로젝트의 품질 특성의 실제 측정된 값을 사용함에 의하여 결정된다. 두 가지의 다른 점은 지불 조정에 관한 기본이다.

(다) PRS의 개발

지금까지, 일부 교통 관련 기관만이 PRS를 개발하여 왔다. 명백하게, 공용성과 연관된 시방서의 타당한 사용과 발전시키기 위한 능력은 공용성 예측 모델과 유지보수 비용 모델에 의존한다. 이러한 모델은 좋은 데이터로 인하여 발전되고 효과적일 수 있다. 좋은 데이터란 다음과 같은 내용을 포함하는 것이다.

- 도로포장과 교량의 공용성 데이터
- 시공 품질 데이터
- 시공비용 데이터
- 유지보수 비용 데이터

이러한 데이터의 수집을 위하여 관리 시스템을 사용하여, 공용성 예측 모델과 유지보수 비용 모델을 만들어 낸다. 불행히도 많은 관리 시스템은 생애주기비용과 관련된 모든 데이터를 포함하지는 않는다.

(5) 공용성에 기초한 시방서(PBS)

(가) PBS의 정의

교통 시공 시방서의 발달에서 좀 더 분명한 것은 공용성에 기초한 시방서이다. 보고서 E-C037(2002, 4월)은 다음과 같이 공용성에 기초한 시방서를 정의 한다.

시방서의 합격 품질은, 요구되는 공학적 특성의 수준을 묘사하는 것이고, 또한 공용성의 예측이고 예측되는 주요 관계를 나타내는 것이다.

(나) PBS의 일반사항

PBS는 공학적 특성(주요 품질 특성이 아님)의 수준을 명기한 PRS와는 다르며, 이 시방서의 핵심은 공용성에 대한 정확한 예측이다. 구조물의 응답과 손상의 예측과 혹은 교통 및 환경과 구조적 상태를 나타내는 인자들의 조합으로부터 공용성을 예측한다. 사실, 공용성에 기초한 시방서는 건설 과정보다는, 마지막 현장의 결과물의 공용성과 관계가 있다. PBS의 주요 형태는 다음과 같다:

- 최종 결과물의 공학 특성의 측정에 기초한 합격 기준으로 공용성을 예측한다.
- 합격 기준은 통계적으로 타당한 것들에 의하여 제한된다.
- 수학적 모델은 측정된 기초적인 공학적 특성과 공용성 예측 간의 관계를 정량화하는 것에 사용된다.
- 적절한 가격은 시공된 시설물의 기대되는 생애-주기 비용(LCC)에 기초한다.

(다) PBS의 현황

공용성에 기초한 시방서는 아직 완전하지 않다. SHRP의 연구에 의하여 개발된 바인더의 수퍼페이브 공용성 등급 시방서(PGAB)는 공용성에 기초한 시방서의 부분적인 예이다. 그러나 PGAB는 마지막 결과물의 여러 요소 중 하나일 뿐이다. 결과물의 공용성 예측을 위한 모델을 완성하기 위하여, 재료와 기초적인 공학적 특성과 관련된 모든 요소들은 포함되어야 한다. 다른 공용성에 기초한 시험 방법은 완전하

게 개발되지 않았다. 개발된 공용성에 기초한 시험 방법은 허락하기에 아직 충분하지 않다. 이러한 시험은 FHWA, NCHRP와 TRB의 연구 프로그램에 의하여 현제 개발되고 있다.

추가적으로, 공용성에 기초한 시방서는 기대되는 생애-주기 비용에 기초한 적절한 가격을 정하기 위하여 요구되는 모델을 만들어내고 입증하기 위한, 좋은 관리 시스템 데이터를 필요로 한다. 이전에 대부분의 기관의 관리 시스템은 비용 모델과 기대되는 공용성의 개발을 위해 필요한 모든 데이터를 즉각적으로 수집하거나 평가하지 않았다. 따라서 공용성에 기초한 시방서는 아직 교통 기관들에게 유용한 수단으로 만들어지지 않았다.

(6) 품질 보증 시방서의 개발과정

품질 합격 기준은 공학적이어야 한다. 품질 보증 시방서는 방법 시방서와 End-Result 시방서보다 많은 공학적 지식을 요구한다.

품질 보증 시방서의 개발에는 다음의 6가지 중요 단계가 있으며, 이러한 6 단계는 품질 보증 시방서의 초기 제안을 위해 필수적이다.

- 계약자의 QC와 기관의 합격기준의 책임과 과정을 확인한다.
- QC와 합격기준을 위하여 선택하고 시험하는 재료의 상태를 명확히 한다.
- 품질 특성의 합격 기준에 적용되는 측정과정을 확인한다.
- 품질 특성의 합격의 제한에 기초한 수학적 확률을 개발하고 입증한다.
- 각각의 품질 특성에 대하여, 측정된 품질 수준에 걸맞은 적정 비용을 결정하기 위한 과정을 개발하고 입증한다.
- 기관과 계약자 사이의 합격기준에 대한 위험성을 지정하고 입증한다.

(가) 1단계 - QC와 합격기준의 책임 확인

첫째로, 품질 보증 시방서는 계약자의 품질 조절과 기관의 합격기준에 대한 책임과 과정을 명확하게 언급하여야 한다. 주요 아이템은 다음과 같다.

- QC 계획 필요함
- 계약자의 배합 설계 제출과 기관의 인증
- 플랜트와 현장의 생산량 인증
- 작업 관리를 위한 표와 QC 시험과 QC 조사의 사용

- 합격 기준을 위하여 QC 시험 결과를 사용
- 기관의 조사와 합격 기준의 과정

(나) 2단계 - 샘플링 방법과 시험기준을 명확히 정의

두 번째 단계로, 기관의 합격기준과 계약자의 품질 조절을 위하여 조사하고 샘플링, 시험하는 재료의 특성(품질 특성)은 품질 보증 시방서에 결정되고 명확하게 언급되어야 한다.

- 샘플링 되고 시험되는 개별적인 품질 특성
  (PG Binder, HMA Air Voids, PCC Strength, Ride Smoothness)
- 샘플링 위치
- 사용된 시험 방법
- 샘플링과 시험의 횟수

선택된 품질 특성은 공용성과 연관되어야 한다. 또한 측정되어야 한다. 샘플링 위치와 기준만족여부를 판별하기 위한 시험의 방법은 시방서에 언급되어야 한다. 각 시험법의 고유 변동성을 반영하기 위하여 시험법이 언급되어야 한다. 이것은 합격 기준의 제한에 영향이 있다. 샘플링 지점에 대해 여러 가지 선택할 수 있지만, 각 품질 특성에 하나의 지점은 반드시 명시되어야 한다. 시험법과 샘플링 지점은 품질 보증 시방서에 꼭 명시되어야 하고, 합격 기준 제한을 평가하기 위한 데이터에 사용된 것과 동일해야 한다.

QC와 합격기준을 위하여 요구되는 좀 더 잦은 빈도의 현장 샘플작업은, 시방서 개발과정에서 작성자가 선택하는 위험요소와 연관이 있다. 하나 나 두 개의 현장 샘플 작업은 부분적인 품질 특성의 변동성을 타당하게 보여줄 수 없다는 것을 인식하여야 한다. 수학적 확률적인 과정은 품질 특성을 정확히 보여주기 위하여 최소 3개 이상의 현장 샘플 작업을 필요로 한다.

(다) 3단계 - 합격기준을 위한 품질의 측정을 명확히 함

세 번째 단계는, 합격 기준을 위하여 품질의 측정이 있어야 한다. 품질 측정의 용어는 다음과 같이 정의 된다.

품질 측정(MOQ) = 평균적인 개개의 품질 특성의 수준을 정량화하기 위하여 사용되는 몇 가지 수학적 도구 중 한 가지.

품질 보증 시방서에 사용된 일반적인 품질 측정은 평균적인 품질과 변동성을 정량화하기 위하여 선택된다. 품질의 측정은 다음의 인자를 사용할 수도 있다.

- 평균
- 표준 편차
- 불량 비율
- 한계 내의 백분율(한계 내의 백분율)
- 평균 절대 편차(The Average Absolute Deviation)
- 이동평균
- The Conformal Index(CI)

예를 들면, 강도의 평균은 콘크리트 포장에 대한 품질기준이 될 수 있다. 혹은, 모든 현장 밀도의 한계 내의 백분율은 아스팔트 콘크리트 포장의 품질 측정으로 사용될 수 있다. 한계 내의 백분율은 품질 보증 시방서에서 가장 자주 사용되는 품질의 측정이다.

(라) 4단계 - 합격기준 제한의 개발과 인증

네 번째 단계는 각각의 품질 특성의 합격기준의 제한에 기초한 수학적 확률의 개발과 인증을 요구한다. 품질 보증 시방서에 일반적으로 포함되는 합격기준의 제한의 두 가지 형태는 다음과 같다.

- 시방서 제한사항
- 공학적 제한사항

시방서 제한사항은 한계 내의 백분율처럼 몇 가지 품질 측정에 사용되는 변수의 품질을 평가하는 것에 적용되는 통계적 제한이다. 이것은 일반적으로 시방 제한 이상(USL)과 시방 제한 이하(LSL)를 갖는다. 이러한 통계적 제한 때문에, 각각의 현장 샘플 시험 결과는 USL이나 LSL 이외의 값으로 벗어날 수 도 있고, 여전히 합격 기준 결정에 포함된다는 것을 인식하는 것이 중요하다. 공학적 제한사항은 때때로 시방서 제한사항과 함께 사용된다. 또한 시방서 제한사항 없이 사용되기도 한다. 예를 들면, 콘크리트 포장의 강도시험 결과는 일반적으로 세 가지의 연속적인 시험 결과의 평균을 사용하여 평가되지만, 각각의 시험 결과가 공학적 제한의 범위를 벗어났는지의 여부가 여전히 고려된다. 공학적 제한은 각각의 현장 샘플에 대하여 절대적인 경계 값을 제공한다. 공학적 제한은 요구되는 최소의 공학적 특성을 갖지 못한 재료를 명확히 하기 위하여 만들어진다. 이것은 일반적으로 공학적 제한 이상

(UEL), 공학적 제한 이하(LEL)에 분포한다. 공학적 제한 범위를 벗어나는 각각의 현장 샘플 시험 결과는 합격 수준을 벗어나는 재료를 나타낸다고 생각된다.

품질 보증 시방서에서의 변화 중 한 가지는 많은 기관의 지난 시험 데이터가 합격기준의 제한의 설립에 사용될 수 없다는 것이다. 많은 기관이 초기 목표를 정하고 다양한 품질 특성에 대한 정립을 위하여 지난 데이터를 사용하지만, 이러한 시험 결과는 종종 대표값과 획일적인 간격, 샘플 중 일부에 기초한다는 것을 인식하여야 한다. 편향된 데이터는 합격 기준의 제한을 치우치게 나타낼 수 있다. 합격기준의 제한에 기초한 적절한 수학적 확률을 개발하기 위하여, 기관은 재료의 알려진 변화특성을 반영하는 대표적인 데이터를 가져야 한다. 각각의 품질 특성에 대한 목표와 제한을 적절히 결정하기 위하여 필요한 것은, 조절되는 상황아래서 무작위의 현장 샘플을 사용하여 수집된 데이터이다. 합격 기준의 제한 시방서의 작성자는, 결과물의 변화성의 데이터베이스를 만들기 위하여 시범사업을 사용하여 시험하고 적용하여야 한다. 시범사업의 계약자와 생산자에 의한 재료와 시공 품질 수준은 고유의 일반적인 변화성을 결정하기 위하여 분석되어진다. 마지막 품질 보증 합격 기준의 제한 시방서는, 각각의 품질 특성에 대하여 좋은 국가 산업 규격과 지역 변화성이 사용되어 만들어진다.

(마) 5단계 - 지불규정(계수)의 개발과 검증

다섯 번째 단계는 각각의 품질 특성에 대하여 계산된 품질 수준과 관련된 적절한 가격 조정 과정의 개발과 인증을 요구한다. 품질 수준의 계산을 위해 기관이 일반적으로 명시하는 품질의 측정은 품질 수준 분석(QLA)으로 알려져 있다.

QLA는 한계 내의 백분율로 여겨지는 시방 제한 이내의 비율의 평가과정이다. 각각의 품질특성에 대한 한계 내의 백분율은 주어진 재료의 현장 샘플 시험 결과의 평균과 표준 편차를 사용하여 계산된다.

품질 보증 시방서는, 각각의 한계 내의 백분율 값을 준수하는 샘플과 연관되는 명확한 지불계수(Pay Factor, 0.75~1.05 범위)를 지정한다. 지불계수는 전체 양과 적절한 지불 가격을 계산하기 위한 상응하는 계약서 단위 가격에 의해 적용된다.

품질 보증 시방서에서 적정 가격을 조정하는 과정은 이전의 품질 보증 조절 프로젝트에서 모의로 실행되었다. 상당량의 시범사업 합격 현장 샘플 시험 결과가 수집되었고, 모든 것들이 평가되었다. 이것은 만들어진 시방서의 목표와 제한과 비교되는 적정가격의 객관적인 평가를 제공할 것이다.

적정 가격 조정 프로젝트의 분석에 기초하면, 시방서 제한과 지불 요인은, 지불이 품질 수준과 공용성과 연관 있는지를 확실하게 하기 위하여 고쳐질 수 있다. 따라서 적절한 가격은 이전 시범사업에서 모의 실행되었고, 앞으로 몇 년 동안 단계적으로 실행될 것이다.

(바) 6단계 - 구매자와 판매자의 위험성 지정과 인증

지난 단계에서, 기관은 품질 보증 시방서 하에서 분석하고, 수행되는 작업의 위험성 기준을 정해야 했다. 발주자는 나쁜 재료를 합격시킬 위험성과 계약자가 불합격된 좋은 재료를 지니고 있을 위험성을 평가할 수 있다. 이러한 위험성은 다음의 용어로 정의 된다.

- 계약자의 위험성 = Alpha
- 기관의 위험성 = Beta

알파와 베타 위험성은 이상적이고 균형 잡힌 품질 보증 시방서에서 분석되어져야 한다. 이러한 위험성은 일반적으로 기관과 계약자 사이에 ±5% 범위에서 정해진다. 알파와 베타 위험성 수준은 AASHTO R 9-97에서 나타난다.

작업 특성(OC, Operating Characteristic) 곡선과 기대 비용(EP, Expected Pay) 곡선은 위험의 균등한 분배에 도움 줄 수 있다. OC 곡선은 한계 내의 백분율과 합격 기준의 가능성 사이의 관계를 그래픽하게 제동한다. EP 곡선은 한계 내의 백분율과 기대 비용 요인을 그래픽하게 제공한다.

계약자의 위험은 합격 가능한 품질 수준(AQL)에서의 OC 곡선에서 결정된다. 여기서 AQL은 다음과 같이 정의 한다.

AQL = 100% 지불에 대한 최소의 합격 가능한 품질 수준(한계 내의 백분율)

기관의 위험은 합격 하지 못하는 품질 수준(RQL)일 때의 OC 곡선에서 결정된다. 여기서 RQL은 다음으로 정의할 수 있다.

RQL = 작업할 수 있는 것에서 최소한의 품질 수준(한계 내의 백분율)

더 적은 수의 합격 가능한 샘플은 기관의 위험성을 증가시킨다. 증가하는 합격 가능한 샘플의 수는 기관의 위험성을 감소시킨다. 기관과 계약자의 위험성을 감소

시키는 단 한 가지의 방법은 합격 기준을 위하여 사용되는 현장 샘플의 수를 증가시키는 것이다. 각각의 여섯 단계에서 마지막 세 단계는 논의된 값 이상으로 시범사업을 통하여 개정될 수 있다. 품질 보증 시방서의 모든 이행은 최근 5년 동안 이루어졌다. 시범 품질 보장 기준은 다음의 경우에 필요하다.

- 지역 재료의 변화성에 의미 있는 데이터의 수집
- 적절한 합격 기준의 목표와 제한 개발
- 기관과 계약자의 위험성 지정
- 공정한 적정 가격의 집행

이때에, 품질 보증 시방서의 목표와 제한은 좋은 시험 결과의 방대한 데이터베이스를 가지고, 알려진 결과물의 일반적인 변동성을 개발할 수 있다. 또한 위험성은 계약자와 기관 사이에 공정하게 할당된다.

4. 도로포장분야 성능기준 개발 방향

▶ 지불규정(Pay Factor) 개발 분야

- 포장형식별 ; 콘크리트 포장, 아스팔트 포장
- 관련 성능인자 ; 밀도, 두께, 평탄성 등 선정
- 성능인자 평가법 ; 실험, 측정 방법, 기준치 선정
- 준공 시 인자 값에 따른 지불 정도 결정 논리 개발

▶ 품질보증기준(Warranty Spec) 개발 분야

- 포장형식별 ; 콘크리트 포장, 아스팔트 포장
- 관련 성능인자 ; 소성변형, 균열 등
- 성능인자 평가법 ; 실험, 측정 방법, 기준치 선정
- 성능인자의 측정 기관, 측정 시기 등 기준 제시
- 계약 당사자 간 분쟁 해결방안 및 예외규정 등 제시

▶ 계약제도 도입 분야

- 성능 계약제도의 도입 배경 제시
- 기존 계약제도와의 차이점 제시
- 성능 계약제도 도입을 위한 기술적, 행정적 고려 사항

- 성능 계약제도의 실시 단계별 주체 등 제시

▶ 성능기준 도입에 따른 제도, 규정 검토

- 관련 법규 및 규정 개정 소요 검토
- 관련 시험 및 평가방법의 제·개정 소요 검토
- 보증보험, 계약제도 등 제도 개정 소요 검토
- 상기 요소들에 대한 도입 방안 검토

▶ 성능기준 실용화 방안과 연계한 작성 방향 검토

5. 도로포장분야 성능기준 작성 시 고려사항

▶ 기본 사항

- 개념 및 용어의 정립

  예) 성능, 성능기준, 품질보증기준, 지불규정 등의 정의

- 최종성과물(성능기준)의 명칭, 범위, 자리매김의 정립

  예) 포장표준시방서 성능편(가칭), 포장설계 및 시공 편람 성능편(가칭) 등

- 성능기준의 적용 대상 사업을 명확히 하여 작성
- 기준은 적용시 혼란이 없도록 단순하고 명료하게 작성
- 해설서는 적용시 분쟁의 여지가 없도록 객관적이고 명확하게 작성
- 기존의 기준체계와 상충하지 않는 적용방안 고려

  예) 단계별 적용 또는 발주자가 선택적으로 적용 가능한 적용방안 검토

- 지불규정, 품질보증기준이 상충하지 않도록 작성

  예) 지불규정에서 보너스를 받은 사업이 조기에 파손되어 개선조치(유지수선) 할 경우 또는 반대의 경우에 대한 분쟁의 여지에 대한 검토

- 국내 포장상태, 기술수준, 현장여건을 고려하여 작성
- 현재 연구에서 개발되는 기준체계(제도)에 포함되지 않는 사항(성능인자)에 대한 향후 추가 및 개선, 개정을 검토하여 작성
- 포장 하부구조 관련사항의 검토

  예) 하부구조에서 기인한 성능저하에 대한 보증문제 등 고려하여 작성

- 시뮬레이션 및 시범사업 실시를 통한 적용성 검토를 위해 조기에 초안을 제시

하여 수정 보완하여 작성

- 홍보 및 실용화 방안과의 연계를 고려하여 작성 등

▶ 지불규정 작성 시 고려 사항

- 성능인자(평가방법) - 포장성능(수명) - 지불금액 논리 정립
- 적용범위 - 국내 포장상태, 기술수준 고려
- 지불기준
- 분쟁해결절차
- 관련제도 검토 및 운영방안 마련

▶ 품질보증기준 작성 시 고려 사항

- 초기 교통 개방 기준
- 보증보험의 규모
- 감독기관의 책임과 권한
- 공용성 기준
- 분쟁해결절차
- 관련제도 검토 및 운영방안 마련

제 2 절 건축물분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발

1. 건축물분야 성능기준 작성지침 개발 연구의 목표

본 연구는 선진국의 사례 분석을 통해 국내 건축 환경에 부합하는 성능기준 개념 및 특성을 정립하고 성능기준 개발 대상 및 범위를 설정한 후, 이를 토대로 접근방법 및 개발방법을 도출함으로써 건축물분야의 성능기준 작성지침 개발하여 향후 성능중심의 건설기술기준을 개발하는 한편, 장기적으로 보다 선진화된 성능계약제도를 확립하는 데에 그 목적이 있다.

2. 건축물분야 성능기준의 개념 및 특성

가. 성능 관련 용어의 정의

성능이라는 용어는 영국 및 ISO, CIB, JIS 등에 다양하게 정의 되어 있으며, ISO에서 성능이란 '제품(건축물 전체・일부)의 사용과 관련한 거동'으로, 일본의 내구성소위원회에서는 '목적・요구에 응하여 발휘되는 성질'로 정의하고 있다.

ISO, CIB, JIS 등에서 제안하고 있는 기능 및 성능에 관련한 용어의 정의 중에서 몇 가지 예를 다음 표로 나타낸다. 그리고 영국의 해리슨(Harrison)이 보고한 규격안의 성능관련 용어의 정의 또한 표로 나타내었다.

표 3.2 건축성능에 관련한 용어 정의 (ISO, CIB, JIS 등)

용 어	정 의 ・ 의 미
성능 (Performance)	제품(건축물 전체・일부)의 사용과 관련한 거동[30]
	목적・요구에 응하여 물건이 발휘하는 능력[31]
	목적・요구에 응하여 발휘되는 성질[32]
사용자 (User)	건축설계의 목적으로 하는 조직, 사람, 동물・물건[33]
사용자의 요구 (User Requirement)	건축물이 확보해야 할 필요사항4)
요구성능	제품(건축물 전체・일부)의 성능으로 표시한 사용자의 요구4)

(Performance Requirement)	
기능 (Function)	말로써 표현한 설계 의도[34]
	목적·요구에 응해서 사물이 수행하는 역할5)
	전체 시스템 중에서 어떤 물건이 수행하고 있는 역할6)
품질 (Quality)	물품이나 서비스가 사용목적에 부합하는지를 결정하기 위한 평가 대상이 되는 고유 성질·성능[35]
	몇 가지 성질·성능에 기초하여 행하는 물건의 종합적인 평가 결과[6]
성질 (Property)	물건이 원래 가진 본성으로, 이것에 의해 다른 물건과의 구별 가능[6]

다음은 영국의 해리슨(Harrison)이 보고한 규격안의 성능관련 용어의 정의이다.

표 3.3 성능관련 용어의 정의 (영국 규격안, Harrison)

용 어	정 의	나사못의 예
환경 (Environment)	어떤 것의 성능에 영향을 미치는 모든 외적인 물리적 조건	막사의 욕실 도어 핸들의 나사못
기능 (Function)	어떤 목적을 달성하기 위한 역할의 형태	접합하는 것
요구기능 (Functional Requirement)	요구기능의 정성적 표현	내구성이 있을 것
성능 (Performance)	정량적으로 표현한 사용시의 거동	주어진 환경에서 10년간의 내용년수를 지님
요구성능 (Performance Requirement)	요구기능의 정량적 표현	10년간의 내용년수를 확보할 것
성능시험 (Performance Test)	어떤 것의 성능을 확인할 수 있는 데이터를 얻을 수 있는 시험	어떤 시험조건 하에서 정해진 시간 방치해도 부식되지 않는 것을 시험함

30) ISO 6421, Performance Standard in Building-Principles of their Preparation and Factors to be Considered, 1981
31) 日本建築學會耐久性小委員會, 建築物の耐久計劃に關する考え方, 日本建築學會, 1988
32) 材料設計研究委員會, 材料設計に關する研究(第3報); 材料設計試驗方法, 建築研究報告 No.56, 建設省建築研究所, 1970. 1
33) ISO 6707-1, Building and Civil Engineering Vocabulary Part 1; General Terms, 1989
34) CIB, The Performance Concept and its Terminology, CIB Report No.32, 1975
35) JIS Z 8101(品質管理用語), 1981

성능평가 (Performance Assesment) (Performance Evaluation)	어떤 것의 성능을, 요구성능과 비교하는 것	10년간의 내용년수라는 요구 성능에 대한 나사못의 내구성을 알기 위해, 성능시험의 결과와 비교 검토함
성능시방 (Performance Specification)	어떤 것에 요구되는 성능을 정한 시방으로서, 시험방법까지 포함 가능	성능시험의 결과, 나사못이 소정의 수준에 적합할 것
성능표준 (Performance Standard)	어떤 것의 성능에 대하여 승인된 수준(Agreed Acceptance Level) ※이 용어는 반드시 확보해야 하는 수준 또는 확보만 하면 되는 수준 모두에 사용할 수 있으므로, 어느 쪽을 말하는지 명확히 적시해야 함.	1) 확보해야 하는 수준 (Criterion) : 영국규격의 성능시험에 규정된 수준 이상일 것 2) 확보한 수준(Achievement) : 영국규격의 성능시험에 규정된 수준을 확보할 것
특성 (Characteristic)	어떤 것이 지닌 하나의 특징	나사못의 홈이 파여 있음
성질 (Property)	어떤 것의 본질적 특징	길이가 15mm 임
속성 (Attribute)	본질적이 아니고 다른 대상과의 관계에 의해서 정의되는 성질	나사못은 다른 물건에 돌려 넣을 수 있음

나. 분야별 성능기준의 개념 및 특성

(1) 강구조분야

(가) 성능중심 구조설계의 의미

구조설계라는 것은 요구된 기능을 만족하는 구조물을 실현하는 행위라고 할 수 있다. 이러한 목표달성을 위하여 설계기준에 따라 수행하는 현행 사양설계법(specification based design), 또는 기준설계법(code based design)에서는 일반적으로 자신이 설계하려고 하는 구조물의 기능별 목표 성능에 대하여 구조설계자가 명확히 인식하지 않고 설계를 수행하는 경우가 많다. 즉, 설계하려는 구조물의 『안전성능』, 『사용성능』, 『내구성능』 등에 대하여 특별히 인식하지 않아도 정해진 설계법을 기계적으로 따라가면 요구된 성능을 만족시킬 수 있다고 설계자는 막연하게 생각하는 것이다. 사실 요구성능이라는 것도 구체적이고 정량적이지 않고 막연한 경우가 많다.

더욱이 설계기준들도 제시된 규정에 따라 설계할 때 어느 정도의 성능수준을 보장할 수 있는가에 대하여 구체적으로 명시하고 있지 않다.

건축물은 규모와 용도에 따라 요구되는 성능수준이 다양하게 변화할 수 있다. 어떤 경우는 정해진 설계기준으로 달성할 수 있는 수준이 너무 과도할 수도 있고, 또 다른 경우에는 반대로 요구 수준에 미달할 수도 있다. 따라서 건물별로 요구되는 성능수준에 따라 설계가 이루어지는 것이 합리적인데 일반적으로 요구성능의 수준이 높아질수록 건축비도 상승하게 된다. 따라서 건축주들은 건축하려는 구조물에 요구되는 적정 수준의 성능을 갖는 설계를 요구하여 투자의 효율성을 극대화하고 싶어 할 것이다. 이 때 요구 성능수준은 건축주 개인의 요구뿐만 아니라 공적이익을 보장하는 기준에 따라 정해질 필요도 있다.

성능중심설계라는 것은 이러한 배경으로부터 고안된 설계개념이다. 그런데 성능중심설계가 이루어지기 위해서는 다음과 같은 사전준비가 필요하게 된다.

- 구조물에서 요구되는 기능별 성능 수준을 명확히 정의하고 현실에 적합한 성능수준(performance level)의 설정.
- 설계결과가 설정한 성능수준을 달성할 수 있다는 것을 검증하는 평가방법의 확립.

여기서, 요구되는 안전성, 사용성, 내구성 등의 기능별 성능수준은 『발주자가 이해할 수 있는 언어』로 표현되어야 할 뿐만 아니라 공학적, 정량적으로 표시될 수도 있어야 한다. 따라서 성능중심 설계기술의 개발에는 상기에 제시된 전제조건인 건축구조물의 종류별 요구기능의 분류와 기능별 성능수준의 설정 및 표시방법의 고안, 그리고 설계결과의 검증방법을 확립하는 것 등이 포함된다.

(나) 강구조분야 성능설계의 특징

성능설계의 장단점은 기존의 사양설계의 경우를 비교하면 분명하게 드러난다. 즉 사양설계에서는 사용재료의 규격이나 형상, 또는 어떤 치수를 규정하여 이를 준수할 것을 요구한다. 반면에 성능설계에서는 재료의 규격, 형상, 치수를 준수해야만 하는 목적 및 기대되는 성능을 명확히 하여, 그 목적과 성능을 규정하게 된다.

사양규정도 원래 어떤 성능을 달성할 수 있도록 만들어진 것이다. 그러나 어떤 구조물에는 적용할 수 없는 규정이라던가, 또는 적합한 규정이 제시되어 있지 않다던가 하는 등의 불확실성을 보완하기 위하여 해당사항을 안전측으로 규정하는 경우가 많다. 이런 규정은 당연히 다른 구조물에는 준용할 수 없게 된다.

이와 같이 사양규정은 사양재료나 형상, 또는 치수 등을 규정하기 때문에 구체적이서 이해가 쉽고 특별이 높은 수준의 설계능력을 요구하지도 않는다. 아울러, 기준에 합당한 설계인지를 판단하는 것도 용이한 이점이 있다. 반면에 새로운 재료나 구조형식이 출현하는 경우, 규정이 너무 단정적이어서 이에 대한 적응하기 어렵다. 또한 실현할 수 있는 목표성능도 명확치 않다. 더욱이 사양기준의 대체방안이 허용되지 않아 기술의 발전을 저해할 뿐만 아니라 국가 간 상호 다른 사양기준을 규정하고 있기 때문에 국제간 관세장벽과 같은 효과를 내는 등의 단점이 있다.

반면에 성능규정은 설계방법의 유연성을 높이게 된다. 실현할 수 있는 목표성능을 분명히 하여 기술의 진보를 수용하기 용이하며 기준의 국제적 호환성을 높일 수 있는 장점이 있다. 다만 설계결과의 심사, 적합성의 판단에 고도의 기술이 필요하고 고도의 설계능력이 요구되는 점 등이 이 설계법의 도입 전 해결해야 할 선결조건이라 할 수 있다.

(2) 재료분야

(가) 성능중심 재료설계의 의미

성능설계라는 것은 요구되는 각각의 성능수준을 실현하기 위해 건축물의 재료·공법이나 부품·설비의 구성을 변화시켜서 전문분야별로 계산 혹은 실험을 반복하여 목표로 하는 건축물을 만드는 설계법이며, 많은 전문적 지식이나 경험을 종합해서 시스템적으로 처리하는 공학적 수법의 일종이라고 할 수 있다. 이 중에서, 각종 건축재료·공법을 선정하는 과정에 주목하여 체계화한 수법을 재료설계라고 한다. 즉 재료설계는 해당 건축물에 요구되는 성능을 실현하기 위해 재료·공법을 선정하는 절차, 즉 성능설계 중에서 재료·공법의 성능에 관련되는 부분의 설계이다.

재료설계에서 의미하는 사용자의 요구 및 성능의 정의, 이를 정량화하기 위한 국내·외 성능평가 방법의 현황은 다음과 같다.

① 성능중심 설계를 위한 인간의 요구사항

건축의 성능은 건축에 대한 인간의 요구가 그 출발점이며, 근본이기도 하다. 건축에 대한 인간의 요구에 대해 세계 각국에서 검토가 이루어져 왔으며, 그 대표적인 것 중 하나가 CIB W 45 [인간의 요구와 건축설계] 위원회가 분류하여 정리한 인간의 요구이다. 다음은 인간의 요구에 대한 분류 항목을 표로 나타낸 것이다.

표 3.4 인간의 요구에 대한 분류 항목(CIB W45)

· 음에 관한 요구 · 냄새 및 호흡에 관한 요구 · 촉감에 관한 요구 · 시각에 관한 요구 · 온도 · 습도에 관한 요구 · 건물의 진동 · 변형에 관한 요구 · 자기, 전기, 이온, 일조, 방사선에 관한 요구 · 안전성에 관한 요구 · 위생에 관한 요구 · 프라이버시에 관한 요구 · 생활에 관한 요구 · 돌발사고 또는 재해에 관한 요구 · 경제성에 관한 요구

국내에서는 건물이 충족해야 하는 사용자의 요구조건을 KS F ISO 6241 : 2001 (건축물 성능 표준)에 명기하여 여러 범주들로 구분하여 수록하고 있다.

표 3.5 KS F ISO 6241 : 2001(건축물 성능 표준) 사용자 요구 조건

구 분	예
1. 구조적 안전에 대한 요구 조건	-개별적이며 복합적인 정적, 동적 작용에 대한 구조적 저항 -충격, 고의성을 불문한 오용, 사고에 대한 저항 -주기적(피로) 효과
2. 화재 안전에 대한 요구 조건	-화재의 발생 및 화재의 확산 위험 -연기나 열에 의한 생리학적 영향 -경보 시간(탐지 및 경보 시스템) -대피 소요 시간(피난 경로) -체류 허용 시간(방화 구획)
3. 사용 안전에 대한 요구 조건	-위험한 동인(폭발, 발화, 예리한 부분이나 모서리, 이동 기계 장치, 감전사, 방사능, 독성 물질과의 접촉 또는 감염)으로부터의 안전 -이동 및 활동 중의 안전(바닥의 미끄럼 제한, 장애물이 없는 통행, 가드레일 등) -사람 또는 동물의 침입에 대한 안전
4. 밀폐에 대한 요구조건	-수밀성(비, 지하수, 음료수, 폐수 등) -공기나 가스에 대한 기밀성 -눈과 먼지에 대한 기밀성
5. 온습도에 대한 요구조건	-기온, 방열, 공기 속도, 상대 습도(시간적, 공간적 변이 한계, 조절 반응) -결로의 조절
6. 공기 청정도에	-환 기

대한 요구 조건	-냄새 조절
7. 음향에 대한 요구 조건	-내부 · 외부 소음 조절(간헐적, 지속적) -음의 인지 -잔향 시간
8. 시각적 요구조건	-자연광과 인공광(요구되는 조도, 현휘 차단, 광도 대비, 안정성) -일광(차단) -어두워질 가능성 -공간과 표면형태(색상, 질감, 규칙성, 평탄, 수직도, 수평도, 직각도 등) -내부 · 외부와의 시각적 접촉(사생활 보호를 위한 연결 및 차단, 광학적 비틀림의 제거)
9. 촉각적 요구조건	-표면의 특성, 거침, 건조함, 따뜻함, 유연함 -정전기의 차단
10. 동역학적 요구 조건	-건축물 전체의 진동 한계(일시적 및 연속적) -바람이 잦은 지역에서 통행의 쾌적성 -이동 용이성(램프의 경사, 계단의 경사) -기동성(문, 창문, 조절 장치의 작동 등)
11. 위생에 대한 요구 조건	-인체의 보건 관리와 청결을 위한 시설 -급 수 -청 결 -폐수와 폐기물, 매연의 배출 -오염물의 배출 제한
12. 특수 공간의 적정성에 대한 요구 조건	-공간의 수, 규모, 기하학적 형 태, 분할, 상관관계 -설비 및 장치 -가구의 비치 여부, 융통성
13. 내구성에 대한 요구 조건	-정기적인 유지 관리 하에서 요구되는 유효 수명 기간 중 요구되는 성능 유지
14. 경제적 요구조건	-투자비용, 운영 및 유지 보수비용 -해체 비용

② 성능평가 방법의 현황

국내의 성능평가 방법으로서는 KS(한국산업규격), 공적기관 등이 정한 시험방법(대한건축학회, 한국콘크리트학회, 한국건축기술연구원, 한국건자재시험연구원, 대한주택공사 등 공적기관이 정한 시험방법), 기존 연구에 사용된 시험방법(연구성과의 평가에 있어서 종래 시험방법으로는 평가가 불가능하여 개발된 시험방법이나, 종래 시험방법의 간략화를 목적으로 한 연구에 있어서 논리적으로 적절한 평가가 가능하다고 인정되고 있는 시험방법) 등이 있다.

국외의 대표적인 성능평가방법으로서는 JIS(Japan Industrial Standards), ISO(International Standards Organization), CEN(European Committee for

Standardization), ASTM(American Society for Testing and Materials), BS(British Standards), DIN(Deutsches Institute fur Normung) 등을 들 수 있다.

(나) 재료분야 성능설계의 특징

타 분야에서의 재료설계는 재질설계에 가까운 것이 많으나 건축재료의 경우는 재료의 사용자, 즉 설계자 혹은 시공자 입장에 서서 다종다양한 재료 중에서 최적의 것을 고르는 재료선정의 시스템이 중요하게 된다. 이것은, 건축의 설계·시공을 수행하는 설계자나 시공자가 자기 스스로 재료를 생산하는 일이 거의 없기 때문이다. 이러한 재료설계에 앞서 재료에 요구되는 성능을 명확히 할 필요가 있으며, 그렇게 하기 위해서는 건축에 요구되는 것이 무엇인가 하는 근본적인 문제부터 분명히 규명해야 한다.

(3) 환경분야

(가) 성능중심 환경설계의 의미

성능중심의 환경 설계라는 것은 "인간의 요구를 충족시키기 위해 압력에 대항하는 건물의 활동"이라고 이야기 할 수 있다. 그리고 성능 수준을 달성하기 위해서 재료, 공법, 설비 등을 변화 시켜서 사용자가 요구하는 수준을 달성하는 것이다. 사용자가 요구 하는 수준을 달성하기 위해서 부위별로 요구 기능을 분류하고 각각의 요구기능에 대해서 성능등급을 나누어 성능등급을 달성토록 하는 것이다.

(나) 환경분야 성능 설계의 특징

환경분야 성능 설계의 특징은 국내의 사정을 조사해 보면 분명하게 드러난다. 국내 건축법, 표준 시방서 등 기존의 규정은 사용재료, 구조방법 등을 규정하고 있는 이른바 시방규정이며, 이 시방규정에서 규정되어있지 않은 재료, 구조 방법 등을 건축물 등에 사용하려면 건설 교통부 장관의 인증을 받아 사용해야 한다. 최근 사회구조가 발달, 변화되면서 다양한 재료와 구조방법이 시시각각 출현되고 소멸되는 변화무쌍한 정보화 시대에 들어서면서 건축물 설계의 자유도 확대와 고비용구조의 개선 등이 요구되고 있다. 건축구조물의 설계의 자유도 확대와 과도한 고비용 구조의 개선이 요구되고 있으나. 가장 기본적이고 최저한의 품질수준을 규정하고 있는 기존의 시방규정만으로는 이러한 문제점 등을 해결할 수 없는 한계에 있고 많은 부분에서 불합리한 점이 지적되고 있다. 국내의 건축성능 평가제도로는 친환경 건축물 인증제도와 주택성능 평가제도 등이 있으나 근본적인 문제의 해결에는 역부족인 실정이다. 임의의 목

표성능만을 만족하면 다양한 재료, 설비, 구조방법을 자유롭게 채용할 수 있도록 하는 성능중심설계기준을 도입할 필요가 있다. 다만 이를 위해서는 설계결과의 심사, 적합성의 판단에 필요한 고도의 기술 및 고도의 설계능력을 갖추기 위한 노력이 전제되어야 하는 어려움이 있다.

3. 건축물분야 성능기준 개발방향 도출

가. 강구조분야

(1) 강구조분야의 성능기준 적용사례 분석

(가) 성능중심 강구조설계기술에 대한 외국의 현황분석

① 성능중심 구조설계법의 개발배경

미국에서는 캘리포니아 주에서 Vision2000이 발표된 이래 구조설계자는 '성능기반설계(PBD, performance based design)'라는 개념에 관심을 갖게 되었다. 초기의 PBD는 내진설계에 있어서 건축주의 니즈에 세세하게 대응할 수 있는 하나의 방법으로 발표되었으나 1995년의 노스리지지진(north ridge earthquake)으로 잃어버린 구조설계자에 대한 일반대중의 신용을 회복하기 위한 하나의 해결 방안으로서 대두된 것도 사실이다.

일찍이 PBD는 석유가스 산업, 자동차의 충돌시의 안전성평가, 방사성 폐기물용 용기의 안전성평가 등과 같은 분야에서는 채택되어 사용되어져 왔다. 그러나 안전성평가의 척도가 쉽게 결정되는 분야와는 달리 건축물의 성능을 규정하는 척도는 복잡하며 서로 상충되는 현상들이 발생하기 쉬운 게 사실이다.

일본에서의 PBD 원칙은 내진설계에서 에너지흡수장치의 성능을 정의하기 위해 처음으로 적용되었고 그 중 대표적인 예가 오사카국제회의장 구조물에 적용한 언본디드 브레이스(unbonded brace) 부재를 그 예로 들 수 있다. 설계자가 언본디드 브레이스 부재의 요구성능을 지진시의 에너지흡수성능, 저사이클 피로문제(low cycle fatigue), 건물의 사용기간 중 브레이스의 유지보수에 소요되는 경비 및 작업의 수월성 등을 생산자에게 요구했으며, 생산자는 실험 및 해석 등의 데이터를 이용해 설계자에게 명확한 요구성능 결과표를 제출한 것이 시초이다.

한편 미국의 경우에는 스탠포드대학이 지진으로 귀중한 도서관 자료의 기능의 중단과 피해를 경험한 후 특별히 보호해야할 건물이나 기능에 관해서는 UBC 건축기준이 요구수준을 만족시키지 못한다는 것을 알았다. 이에 따라 대학 내 건물의 내진성능을 규정하기 위한 새로운 설계조건이 개발되었고 이에 근거한 PBD설계법이 최초로 적용된 사례 중 하나가 의과대학건물이다. 이 건물은 2층과 3층의 철근콘크리트 내진벽구조로 이루어진 건물 중앙의 중정에 의해 분리되어 있어서 지진응답이 복잡하다. 스탠포드대학의 설계조건이 설계자에게 요구하고 있는 것은 정해진 재현기간동안 2개 레벨의 지진을 고려하는 것, 즉 소규모의 지진에서는 구조물의 손상이 발생하지 않을 것, 대규모의 지진에서도 인명의 안전성은 확보되어야 한다는 요구가 주어졌다. 그리고 이와 같은 일반적인 목표는 당시의 FEMA173의 원칙을 이용하여 상세가 결정되어 졌다. FEMA173은 UBC보다 안전성에 대한 훨씬 엄격한 규정이 제시되어 있었다. 이 후 미국과 일본은 대학의 연구자 및 구조설계자를 중심으로 성능규정에 대한 연구 활동이 활발히 전개되었다.

대표적인 활동으로 1995년 11월 JPN-US Workshop on Seismic Building Code, 1997년 12월 International Workshop on Harmonization of Performance-Based Building Structural Design in Countries surrounding the Pacific Ocean, 1998년 1월 US-JPN Workshop on Performance-Based Engineering, 2000년 11월 International Workshop on Performance-Based Building Structural Design 등이 있었다.

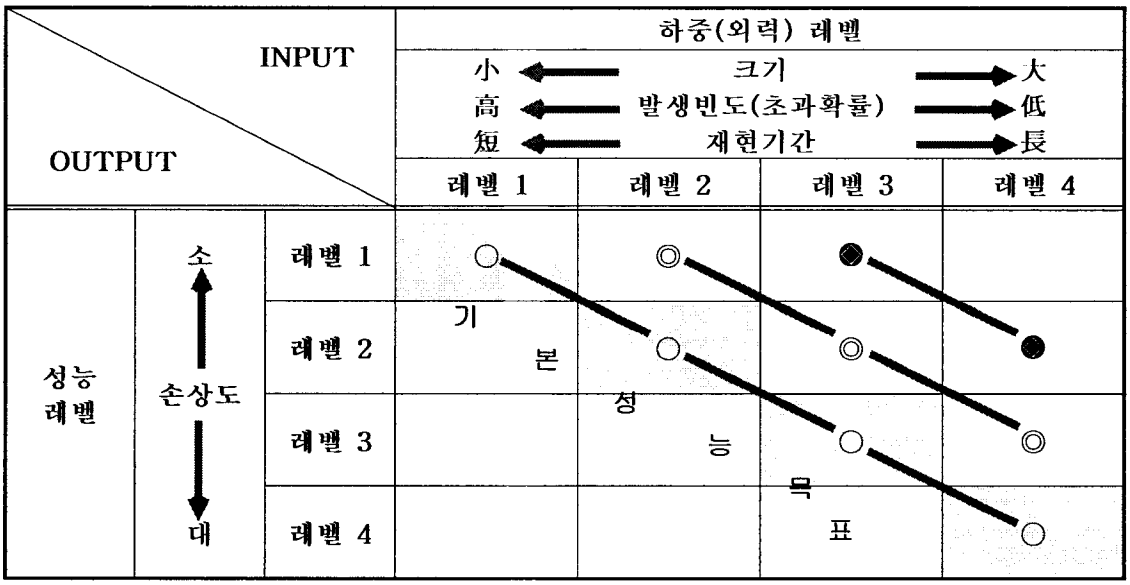
일본정부 건설성 1995년도부터 3년간 총합기술개발프로젝트 '신건축구조체계의 개발'가 일본건축센타 주관으로 진행되었고, 전체위원회 아래 목표수준분과회, 성능평가분과회, 사회기구분과회 등이 마련되어 성능설계의 주도적인 연구수행 역할을 담당하였다. 1996년 미일 수뇌회담에서 건축기준을 성능규정화하는 것에 양국이 합의를 이루었으며, 그 후 1998년 3월 일본정부의 각료회의에서 건축기준법의 개정안이 결정되어 6월 국회에서 가결 되었다. 그 후 2000년 6월 일본의 성능설계법인 한계내력계산법이 공포제정되어 구조관계기준의 성능규정화에 있어서 새로운 구조성능의 검증법으로서 건축설계에 큰 임팩트를 주고 있다. 또한 동년 4월에는 '주택의 품질확보의 촉진 등에 관한 법률'이 시행되었다. 종래의 사양규정 및 사양규정과 조합한 허용응력도설계 등의 설계방법에 성능을 명확히 규정하고 성능을 직접 검증하는 방법론으로서 한계내력계산법이 법령에 반영되어 있다. 설계자의 선택의 폭 및 설계의 자유도가 커지게 되었다. 미국에서는 1995년 EERI의 내진특별위원회 및 SEAOC는 건물의 내진성

능 수준을 매트릭스 형태로 표현하여 성능규정의 대표적인 예를 제시하였다.

② 성능수준의 설정방법-성능매트릭스

성능설계법이 종래의 설계법과 결정적으로 다른 점은 건축주에 대한 설계행위의 설명책임에 있다고 할 수 있다. 종래의 설계법은 전문기술자 사이에서 통용되는 용어로 되어있으며, 건축주에 대한 설명은 구조설계자의 직무로서 명확히 제시되지 않았다. 성능설계에서는 건축주가 원하는 건물의 성능을 비용(cost)과의 관계를 포함해서 설계자가 분명히 설명을 해주어야하며 구조설계자라는 전문직업군이 프로페셔널로서 국민의 앞에 등장하는 새로운 지식의 시대의 도래라고 할 수 있다. 성능설계법에서 가장 중요한 것은, 건축주와 설계자가 구조성능의 이해라는 성능설계의 핵심에 주목해 보면 건축주와 설계자의 인터페이스 역할을 하는 성능 매트릭스임에 틀림없다. 미국의 SEAOC Vision 2000, SAC-FEMA, 일본의 신구조총프로젝트 등에서 각각 제시되고 있으나 통일은 되지 않고 있으며 개념적으로는 다음과 같다. 매트릭스의 사이즈는 SEAOC Vision 2000은 4×4, SAC-FEMA는 2×3, 일본의 신구조총프로젝트는 3×4의 매트릭스 사이즈를 가지고 있으며, 매트릭스의 사이즈가 커지면 커질수록 인풋과 아웃풋레벨을 세분화 할 수 있다.

표 3.6 성능매트릭스의 예



③ 성능평가대상의 분류방법

성능매트릭스는 성능을 평가하는 대상별로 만들어 진다. 미국 및 일본 등에서 제안

하는 각종 제안을 보면 평가대상은 다양하며 평가대상을 크게 나타내면 다음 표와 같다. 각종의 제안을 살펴보면, 우선 건물 전체에 대한 종합평가를 실시하고, 그 후 부분을 평가하는 절차로 이루어져 있다. 이것은 건물 전체의 상태가 건축사용자에게 있어서 최대의 관심사이며, 평가의 정밀도를 높이기 위해서는 평가대상의 분류가 필요하다는 인식에 기초를 두고 있다. 따라서 건물전체의 평가는 일반인들을 대상으로 하는 쉬운 표현, 세부로 나누어질수록 전문용어로 표현되는 경향을 발견할 수 있다.

④ 성능레벨의 제안 비교

성능매트릭스를 구성하는 하나의 축인 성능레벨은 하중(외력)의 작용결과로서 발생하는 구조물의 손상의 정도와 대응하며, 건전성을 가지고 있는 상태에서 완전붕괴까지 그 범위는 넓다. 어느 성능레벨의 하한은, 즉 그 성능을 보증할 수 없는 한계를 한계상태(Limit State)라고 부르는 것이다. SEAOC Vision 2000에서는 내진성능의 레벨을 Fully Operational, Operational, Life Safe, Near Collapse의 4단계로 나누고 있으며 허용할 수 없는 한계로 Collapse를 설정하고 있다. SAC-FEMA의 내진성능 레벨은, Immediate Occupancy Level, Collapse Prevention Level의 2단계로 나누어져 있다. 또한 양쪽 모두 내진성능의 레벨의 구분에 층간변위를 명기해 놓고 있다. 그러나 층간변위의 근거는 명확치 않으므로 무조건적으로 수용해서는 안 된다는 것을 SEAOC Vision 2000에서는 언급하고 있다. '성능평가 대상 표'의 각종 제안에서 나타내고 있는 성능레벨을 비교한다.

표 3.7 성능평가 대상

<table>
<tr><th>종합</th><th>대분류 ⟷</th><th colspan="3">소분류</th></tr>
<tr><td rowspan="6">건물전체</td><td rowspan="4">구조체</td><td rowspan="3">상부구조</td><td rowspan="2">구체</td><td>수직구면</td><td>기둥, 보, 가새, 벽, 접합부, 주각</td></tr>
<tr><td>수평구면</td><td>바닥, 지붕</td></tr>
<tr><td>2차구조</td><td colspan="2">샛기둥, 지붕틀, 띳장, 접합부</td></tr>
<tr><td>하부구조</td><td>기초구조</td><td colspan="2">기초슬래브, 기초보, 말뚝, 지반</td></tr>
<tr><td>비구조체 (내외장재)</td><td colspan="4">외벽, 내벽, 지붕마감재, 바닥마감재, 천정, 간막이, 창문, 문, 간판, 차양</td></tr>
<tr><td rowspan="3">설비</td><td>운반</td><td colspan="3">엘리베이터, 에스컬레이터</td></tr>
<tr><td>조명</td><td colspan="3">조명기구</td></tr>
<tr><td>공조·위생</td><td colspan="3">공조기, 덕트, 배관, 열원기, 위생기구, 펌프</td></tr>
</table>

			·탱크
		전기·통신	큐비클, 발전기, 분반기, 배관배선, 컴퓨터
		비상용	비상등, 화재감지기, 소화전, 스프링클러
		기타	고가수조, 철탑
	적재물	가구·비품	선반, 찬장, 캐비닛, 텔레비전
		위험물	약품, 가연물, 방사성물질
		전시품	그림, 조각
		기타	구명기구

표 3.8 각종 제안의 성능레벨의 비교

SEAOC Vision 2000	SAC-FEMA	피재도판정기준 (일본)	신구조총프로젝트 (일본)	우리나라
Fully Operational	Immediate Occupancy	경미	사용성	?
Operational		소파	수복성	?
1/100		0-1/150		
Life Safe		중파		?
1/200	Collapse Prevention	1/150-1/100	안전성	
Near Collapse		대파		?
1/40		1/100-1/30		
Collapse	Collapse	도괴	붕괴	?

상기 '각종 제안의 성능레벨의 비교표'에서 주의해야 할 것은 횡축의 성능레벨(예를 들어 Operational과 소파)은 반드시 동일의 성능을 나타내는 것은 아니고, 단지 각 제안에 있어서 순위가 동일하다는 것을 나타내는 것에 불과하다. 따라서 레벨의 경계, 레벨의 한계상태는 표로서는 각 제안을 횡으로 나타내었다고 하나 실제로는 상하방향으로 어긋나 있다고 생각하는 것이 무방하다.

⑤ 성능레벨 표시방법의 문제와 과제

강구조 건축물의 성능표시에 있어서 각종 제안을 비교해 보면 다음과 같은 해결과제가 있음을 알 수 있다.

- 성능레벨의 표준화

성능레벨의 구분과 정의는 각 제안별로 다양하여 국제적 표준화에 이르기까지는 아직 요원한 상태이다. 이것은 건축주를 대하는 설계자의 자세에 차이가 있을 수 있고 경쟁원리가 작용되는 것이므로, 성능레벨의 표준화가 곤란한 것은 당연하다고 할 수 있다. 따라서 성능레벨을 통일하여 제안하기에는 앞으로도 많은 연구가 필요하다.

- 성능레벨의 설명기술

성능레벨의 의미, 즉 건축주가 받아들일 수 있는 장점과 감수해야만 하는 단점을 설명하는 기술에 관해서는 아직 본격적인 검토가 행해지지 않고 있다. 설계자와 건축주가 성능을 공유인식 가능한 상황에 도달했다고는 볼 수 없다. 일반 건축주가 가지고 있는 관심과 지식을 전제로 설계자의 창의적 노력이 필요하다고 할 수 있다.

- 평가대상의 표준화 문제

성능의 평가대상에 있어서도 제안별로 약간의 차이가 있다. 이것도 상기와 마찬가지로 설명책임의 범위를 어디까지로 할 것인가에 대한 판단에 설계자가 관여할 수 있기 때문이다.

- 지진하중 이외에 대한 적용성

성능설계법이 지진피해의 교훈으로부터 출발하였으므로 지진하중 이외의 하중에 대해서도 성능설계법이 적용 가능한지에 대해서는 아직 명확한 방향제시가 없다.

- 변형한계의 근거와 의미

내진성능레벨의 정량적 지표로서 최대 층간변위이나 잔류 층간변위에 의한 변형한계가 많이 사용되나 그 근거가 애매하며 사용자에게 전달되는 의미 또한 명확하지 않다.

- 설계기준과의 연관성 확립

성능레벨의 경계, 즉 한계상태를 공학적 값을 이용해서 검정하는 설계기준식은 종래의 구조설계기술을 이용하면 가능하지만 선택은 다양하며 선택기준에 대한 방침이 확립되어 있지 않다.

- 건물 비용(cost)과의 관계

성능수준에 따르는 코스트변동 문제는 설명책임의 논점이 되는 것이나, 고려해야만 하는 코스트의 범위나 코스트의 데이터베이스가 준비되어있지 않다.

- 시간경과에 따른 성능의 저하

성능레벨이 언제까지 보증될 수 있을까에 대해서는 많은 문제를 안고 있다. 재료의 자연열화 현상뿐만 아니라, 하중외력이 구조물에 미치는 열화현상, 학술상의 발견으

로 인한 기술열화 현상 등을 성능레벨의 평가에 반영할 수 있는 방법은 상당히 불투명하다.

(나) 각국의 내진설계를 중심으로 한 성능설계법의 비교

지금 성능중심설계법에 관련하여 미국 및 일본 중심의 선진국에서는 주로 지진하중을 대상으로 하는 새로운 내진설계법을 제안하고 있다. 미국은 현재 International Building Code 2006(이하 IBC2006로 칭함)이 사용되고 있으나 IBC2006은 UBC1997을 비롯하여 IBC2000 및 IBC2003 등과 비교하여 내진설계와 관련한 설계용 지진하중 산정에 응답수정계수(R)은 약간씩 차이가 있으나 그 외의 부분에 있어서는 거의 동일하다. 본 장에서는 각국의 국의 내진설계법의 차이를 비교하고자 한다. 비교대상으로는 한국의 KBC2005, 미국의 IBC2000 및 UBC1997 그리고 일본의 건축물구조관계 기술기준 해설서를 채택하였다.

우선 각국의 하중조합을 비교하여 표로 나타내었다. 표에 의하면 한국과 미국의 경우 강도설계법에서는 1.0 허용응력도설계법에서는 0.7을 사용하고 있으며, 일본의 경우는 표에 나타낸 하중조합이외에도 한계내력계산법에서는 극히 드물게 발생하는 적설 및 폭풍에 대한 검토를 실시하여야 한다.

건물의 중요도계수에 있어서는 한국(KBC 2005)과 미국(IBC 2000)의 경우 약간 차이가 있을 뿐 3단계로 구분하여 사용하고 있다(건물의 중요도 계수 참조). 그러나 일본의 경우는 건축기준법 동시행령에서 특별히 중요도 계수값을 규정하여 사용하지는 않으나 건축물에 준하는 중요 구조물(주요도로의 교량 및 고압가스시설 등)에 대해서는 각각의 시방서에 규정하여 사용하고 있다.

한국(KBC 2005)과 미국(IBC 2000)의 경우 설계용 밑면전단력 및 전단력 계수는 단주기와 장주기 설계스펙트럼 가속도 SDS와 SD1두개의 계수로 정하고 설계스펙트럼 가속도는 지반종류와 지진지역에 따라 정해진 계수값을 사용하여 구한 지진력에 대한 안전성 여부를 확인하는 방법을 사용하고 있다(각국의 밑면전단력 비교표 참조). 그러나 일본의 한계내력계산법에서는 손상한계시와 안전한계시의 2단계에 대해서 각각의 단계에 대한 건물의 고유주기를 구하고 그것을 이용하여 양 한계시의 설계용 지진력을 구하는 방식으로 각각의 단계에 대한 건물의 손상정도를 규정하고 있는 것이 특징이다.

이외에 지반계수에 대해서는 한국과 미국에서는 각각 전단파 속도별로 5, 6가지로 분류하여 사용하고 있으나, 일본에서는 지반주기에 따라 3가지로 분류하여 사용하고

있다.

표 3.9 각국의 하중조합 비교

국명	기준명	설계명	설계식	기호설명
한국	KBC 2005	강도설계	0.75(1.4D+1.7L)+1.0E 0.9D+1.0E	D: 고정하중 L: 적재하중 S: 적설하중 E: 지진하중
		허용응력설계	D+L+0.7E	
미국	UBC 1997 IBC 2000	강도설계	1.2D=1.0E+(f_1L+f_2S) 0.9D+1.0E 여기서 E=ρEh+Ev, Ev=0.5CaID	
		허용응력설계	D+0.7E 0.9D+0.7E D+0.75(L+S or Lr+0.7E)	
일본		한계내력설계법	G+P+0.35S+1.6W	G: 고정하중 P: 적재하중 S: 적설하중 W: 풍하중 K: 지진하중
		허용응력설계법	G+P+0.35S+K	

표 3.10 건물의 중요도 계수

건물종별	한국		미국		
	내진등급	KBC 2005	내진등급	UBC 1997	IBC 2000
방재 거점 등	특	1.50	III	1.25	1.50
사용자수가 많은 건물	I	1.20	II	1.00	1.25
기타	II	1.00	I	1.00	1.00

표 3.11 각국의 밑면전단력 비교

국가명	기준명	밑면 전단력 V	기호설명
한국	KBC 2005	$V=\frac{S_{D1}}{(R/I_E)T}W \le \frac{S_{DS}}{R/I_E}W$	S_{D1}, S_{DS}: 응답스펙트럼가속도 C_a, C_v: 지진계수
미국	UBC 1997	$V=\frac{C_vI}{RT}W or \frac{2.5C_aI}{R}W$	
	IBC 2000	$V=\frac{S_{D1}}{(R/I_E)T}W \le \frac{S_{DS}}{R/I_E}W$	
일본	허용응력 계산	$Q=ZR_tA_iC_0W_i$	Sa: 가속도 스텍트럼 값 mi: 각층 질량 Bi: 수평력분포

	한계내력 계산	Pi=SamiBiFhZGs	Fh: 가속도 저감률 Z : 지역계수 Gs: 가속도 증폭률

이상 한국, 일본, 미국의 내진설계법을 비교한 결과 한국과 미국은 중요도계수, 지역계수 및 반응수정계수에 있어서 약간의 값에 차이를 보이고 있을 뿐 설계용 밑면전단력을 포함한 기타 부분에 대해서 큰 차이는 볼 수 없었다. 그러나 일본과 미국의 경우는 설계법 개념에서부터 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있었다. 가장 두드러진 차이점은 미국의 경우 대지진동만을 대상으로 한 반응수정계수를 이용 변형체크형의 탄성설계법으로 되어있는 반면 일본의 설계법은 중지진동과 대지진동을 대상으로 한 2단계 설계법으로 허용응력도설계법에서는 강도체크형의 탄성설계이고, 한계내력설계법은 강도와 변형을 모두 체크하는 탄소성설계법으로 되어있는 것을 알 수 있었다. 따라서 한국과 미국의 경우는 대지진동에 대한 만족여부를 설계법의 기본으로 하고 있고, 일본의 경우는 각 설정 단계에 맞는 손상의 정도를 만족하는 설계법을 사용하고 있는 점에서 큰 차이를 둘 수 있을 것이다.

(다) 성능설계와 현행 기준설계법과의 관계

성능중심설계의 개념은 일반적으로 성능지향형 기술기준체계도를 이용하여 설명하는 것이 편리하다.

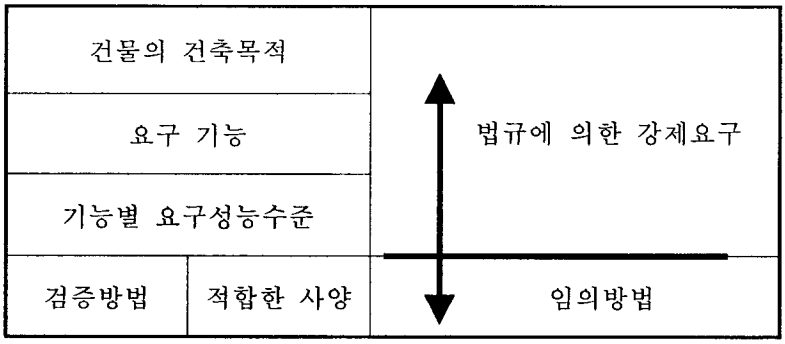


그림 3.3 성능지향형 기술기준의 계층모델

여기서 목적이라 함은 설계기준의 사회적 목적을 기술하는 것이며 요구기능은 목적을 실현하기 위한 기능적 요구를, 또 요구성능수준은 기능적 요구를 실현하기 위한 성능수준을 표시하며 이의 보장을 위하여 검증방법의 원칙을 규정한다. 여기까지가 설계자에게 강제적으로 요구되는 영역이다. 검증방법은 기능적 요구가 실현되었는지

를 검증하는 방법을 기술하는 것이며 요구기능를 만족시키는 구체적 방법이 있는 경우에는 이것은 적합한 사양으로 제시할 수 있다. 구체적 검증방법이나 적합한 사양은 법으로 강제하는 것이 아니며 기술의 진보를 유도할 수 있도록 설계자에게 위임되어야 하는 사항이다.

따라서 종래에 사용되고 있는 많은 기준들은 성능규정, 사양규정이 합쳐지게 된다. 성능을 규정할 때는 요구성능을 명확히 하는 동시에 표시된 기준으로서의 계층화를 명확히 할 필요가 있다. 이러한 의미에서 성능중심설계라는 것이 종래의 없었던 완전히 새로운 설계개념은 아니며 종래의 설계방법을 성능중심으로 체계화하는 규정이라 할 수 있다.

성능중심설계법을 도입하는데 있어서 해결해야 할 과제로는 설계의 자유가 증진되어 설계방법 채택에 유연성이 높아지는 반면, 이를 활용할 수 있는 현장 실무 기술자의 부족과 평가방법의 결여로 인해 설계자에 따라 상당히 다른 결과를 초래할 수 있다는 것이다. 또한 성능규정의 적합성을 판단하기 위해서는 많은 시행착오가 필연적이라는 점도 지적되고 있다. 이런 점에서 검증방법과 적합한 사양의 신뢰성을 높일 수 있는 노력이 필요하다.

(2) 강구조분야의 성능기준 개발프로세스 확립

강구조 건축물의 성능기준의 개발 프로세스는 첫째, 목표로 하는 구조성능을 명확히 제시하여야 한다. 강구조 건축물에 요구되는 안정성, 수복성, 사용성을 기본 구조성능으로 하고 성능평가항목을 하중 및 외력의 수준별 강구조 건축물의 한계상태를 설정하여 이것을 조합한 것을 목표구조 성능으로 하여야 한다. 특히 안정성, 수복성 사용성의 구조성능을 명확히 설정하는 것은 하중의 크기 및 외력의 크기에 의존하고, 또한 특히 내진성능과 관련한 안정성능, 수복성능, 사용성능의 설정은 과거의 지진데이터 등을 바탕으로 한 지진하중의 산정과도 밀접한 관련이 있으므로 성능평가항목 설정시 하중 및 외력의 크기를 산정함에 있어서 신중해야 할 것이다. 아래의 그림은 목표구조성능과 기본구조성능, 그리고 성능평가항목간의 상관관계를 나타낸 것이다.

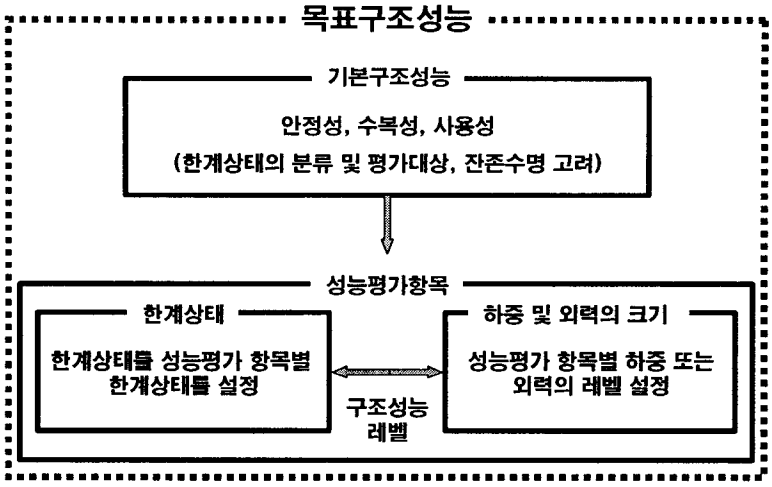


그림 3.4 강구조 건축물의 목표구조성능

둘째, 성능을 검증하는 방법을 제시하여야 한다. 성능검증 방법은 성능평가 원칙과 밀접한 관계가 있으며, 미국, EU 및 일본 등에서는 공학적 관점에서 강구조 건축물의 응답치가 성능한계치를 상회하지 않는 것을 성능평가의 원칙으로 하고 있다. 한계상태설계법의 이론적 근거를 이루고 있는 신뢰성평가기법을 적극적으로 도입하여 신뢰성지표로서 강구조 건축물의 성능을 검증하는 것도 주요한 방법이 될 것이다. 목표신뢰성을 설정하여 신뢰성이론을 사용하여 검증하는 방법이야 말로 진정한 의미의 성능검증이라 할 수 있을 것이다.

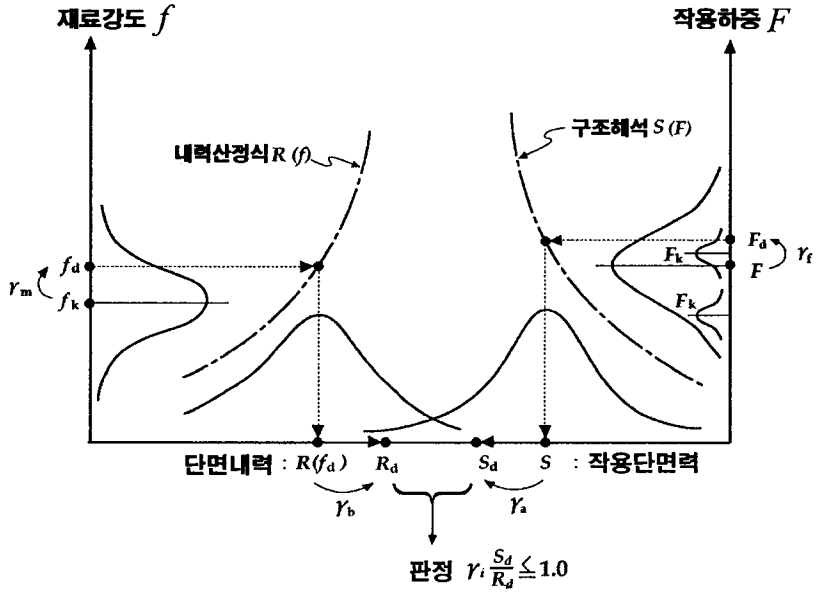


그림 3.5 한계상태설계법의 응답치와 한계치의 개념

또한 성능설계의 선진국인 미국 등의 외국에서 채택하고 있는 등가선형해석법에 대한 해석기술 개발 또한 성능검증 방법으로서 반드시 고려되어져야 할 것이다. 하중 및 외력을 양으로 표현하고, 응답치와 한계치를 이용한 공학적 양의 종류의 설정, 응답치의 예측, 한계치의 추정 그리고 응답치와 한계치의 비교평가가 성능검증의 일련의 프로세스가 될 것이다.

마지막으로 구조성능의 표시가 명확하여야 한다. 목표구조성능 및 성능검증의 결과로서 강구조 건축물이 가지고 있는 구조성능이 명확하게 건축주에게 전달되어져야 할 것이다. 구조성능의 표시는 강구조 건축물의 각 구조성능평가 항목별로 표시되어져야 한다.

나. 재료분야

(1) 재료분야의 성능기준 적용사례 분석

(가) 국내 성능기준 적용사례

소비자에게 정확한 정보를 제공하고 주택의 품질향상을 유도하기 위하여 주택성능등급표시제도를 공표함으로써, '2005년 1월 8일 주택법'에 제도를 도입하고, '2005년 11월 주택성능등급 인정 및 관리기준'을 마련하였고, 한국시설안전기술공단 등 5개 기관이 인정기관으로 지정됨에 따라 '2006년 1월 9일부터 본격적으로 시행되었다. 평가대상은 '2006년부터 2,000세대 이상('2008년부터는 1,000세대 이상) 공동주택은 의무적으로 적용하여야 하며, 입주자모집 공고시 반드시 주택성능등급을 표시하여야 한다.

심사·평가는 사업계획승인 설계도서를 대상으로 소음, 구조, 환경, 생활환경, 화재소방 등 5개 부문 14개 범주 20개 항목으로 이루어지며, 1등급(최우수)~4등급(기본등급)으로 인정받게 된다.

표 3.12 주택성능등급표시제도의 성능 분류

성능부문	성능범주	세부 성능항목
성능부문 소음관련 등급	경량충격음	
	중량충격음	
	화장실 소음	

	경계소음	
구조관련 등급	가변성	
	수리용이성 (리모델링 및 유지관리)	전용부분
		공용부분
	내구성	
환경관련 등급	조경 (외부환경)	외부공간 및 건물외피의 생태적 기능
		자연토양 및 자연지반의 보전
	일조(빛환경)	
	실내공기질	실내공기오염물질 저방출자재의 적용
		단위세대의 환기성능 확보
	에너지성능(열환경)	
생활환경 등급	놀이터 등 주민공동시설	
	고령자 등 사회적 약자의 배려	전용부분
		공용부분
화재·소방 등급	화재·소방	화재감지 및 경보설비
		배연 및 피난 설비
		내화 성능

(나) 국외 성능기준 적용사례

일본의 경우는 비교적 최근에 건축물분야에서 성능기준을 적용하기 시작하였다. 대표적인 건축물의 성능 관련 제도로서는 주택성능보증제도 및 주택성능표시제도·주택성능등급 표시제도 등을 들 수 있다. 또한 2007년부터 건축공사표준시방서의 내용에 성능에 관한 기술이 포함되고 있다. 이러한 성능을 적용한 사례로는 "다이세이 건설의 오피스 성능설계 시스템", 미쯔비시지소 주식회사의 "체크아이즈(주택성능평가 시스템)" 등이 있다.

① 주택성능보증제도

사회적으로 문제가 되고 있는 결함 주택에 의한 피해로부터 소비자를 보호하는 목적으로 선진국의 주택성능보증제도 있으며, 일본은 1977년부터 주택성능보증제도의 실시를 준비하여 1980년 4월 북해도 구시로(천로)지구에서 시범적으로 실시하였고, 이후 1982년 4월 성능보증주택등록기구(약칭 주택보증기구)의 설립하였으며, 영국은 날림공사가 사회문제화 되자 전국건축업자연합회(National Federation of Building Trades Employers)[36]가 공정거래를 실현하기 위해 주택성능보증제도를 도입하였다.

주택성능보증제도는 품질관리기준으로 '주택의 설계 및 시공에 관한 기준'을 설정, 적용하여야 하며, 영국의 NHBC는 '주택의 설계 및 시공에 관한 기술기준'을, 프랑스는 '통일기술기준', 일본의 주택성능보증기구는 '설계시공기준'을 정하고 있다.

② 주택성능표시제도 · 주택성능등급 표시제도

일본에서 주택성능표시제도는 1999년 6월 건설되는 주택의 품질확보를 촉지하고 준공 후 주택의 성능향상을 위해 제정된 주택품질 확보의 촉진등에 관한 법률에 근거하여 2000년 4월 1일부터 시행된 제도이다. 주택성능표시제도는 평가하는 성능을 구조안전, 화재안전, 열화경감, 유지관리, 온·열환경, 공기환경, 빛·시환경, 음환경, 고령자등에 배려 등9개 부문 29개 항목으로 이루어지며 기본성능을 1등급으로 두어 성능이 우수할수록 높은 수의 등급을 인정받게 된다. 이러한 성능기준의 도출과정은, 성능평가를 위한 성능항목을 제시하고, 각 성능항목에 대한 사용자 중심의 정의와 성능항목에 대한 정량화 할 수 있는 성능과 평가 방법을 선정하여 선정한 기준에 대한 법 규정 및 시방을 제정함으로서 이루어진다.

③ 일본의 성능설계 및 평가 적용 사례

일본의 주택품질 확보 촉진에 관한 법률이 제정된 이래 일본의 건설업계에서 다양한 성능 설계 시스템을 개발하고 실제 설계에 적용하기 시작했다.

다이세이건설(주)은 약 150개 항목의 오피스 성능을 수많은 설계·시공의 실적에 근거한 방대한 데이터로부터 사용자의 시점에서 추출하여, 9개 항목(『확장·교체용이성』, 『실내 환경』, 『정보화 대응』, 『보안』, 『구조 안전성』, 『재해 안전성』, 『주변 환경 등의 지역성』, 『에너지 절약』, 『내구성 등의 자원절약』)으로 분류하고 사용자의 폭넓은 요구에 대응할 수 있도록 5개의 선택지를 설치하여, 사용자가 선택한 오피스 성능을 종합적으로 평가하고 레이더 차트 등으로 명시하여 사용자의 요구를 객관적으로 판단할 수 있고, 요구된 성능에 대응한 비용을 관련짓는 것으로 요구와 예산에 맞춘 설계를 제안할 수 있는 오피스 성능 설계 시스템 개발하였으며, 미쯔비시지소 주식회사 설계, 시공, 완성시에 또 입주 후의 각각의 단계에서 품질관리사가 엄격히 체크하고 그 내용을 고객에게 보고하는 시스템인 체크아이즈(주택성능평가 시스템)를 개발하였다.

그리고 카지마 건설과 다이세이 건설은 공동으로 콘크리트 시공 성능을 정량적으

36) 현재 전국주택건설협회 (National House Building Council, 이하 주택협회)로 개편

로 판정하기 위한 지표로 변형성, 다짐성, 유동성에 대한 평가 기법 고안하여 콘크리트 시공 성능의 정량적 평가 시스템의 일부 개발하였으며, 시공 성능을 평가하는 해석 기술로 「운반 성능」, 「타설 성능」 등 2개의 시공단계에 관한 연구를 진행 중이다.

또한, 시미즈 건설은 구조 및 설비, 완성재까지 포함한 건물의 종합적인 내진 등급의 설정을 위한 건물의 지진 리스크 평가 시스템, 지진·바람 등의 외력 설정 시스템, 건물의 균열, 거주, 가구·집기의 내진 안전성 등 각종 성능을 확인할 수 있는 시뮬레이션 시스템 및 면·제진 기술 등을 개발하여 '시미즈 내진 성능 설계 가이드라인'으로 활용하고 있다.

④ 일본 표준시방서에서 성능기준 적용사례

일본 건축공사 시방서의 기술은, 지금까지 사용 재료나 공사 방법에 관한 지시가 주체를 이루어 왔지만, 2007년부터 공사에 의해 이루어져야 할 성능의 기술이 시방서 내용에 포함되었다.

일본건축학회 재료시공위원회가 제정하고 있는 건축공사 표준 시방서(JASS)에서도 이미 일부의 공사에 대해서는 성능에 관한 기술이 도입되고 있다.

성능에 관한 기술의 예로서 'JASS 5 철근 콘크리트 공사'에 대해 이미 1997년의 개정 때에 콘크리트의 등급 마다 기대하는 사용년수를 명시하고 있으며, 또 일반적인 커튼월 공사를 취급한 JASS 14 에서는 제정 시부터 기대 성능치를 제시해 발주하도록 기록되어 있다.

2004년 개정된 'JASS 12 지붕 공사'에서는 JASS로서 처음으로 목표 성능의 범위를 지정하여 기본 성능 6항목과 이차적 성능 5항목에 대해 기술했다. 다음 표는 그 개략적 내용을 나타내고 있다.

표 3.13 지붕 공사의 목표 성능

종 별	기본 성능	2차 성능
성능 항목	방수 성능 내풍압 성능 내진 성능 내구성능 내충격성능 방화 성능	단열 성능 방습 성능 방음 성능 발생음 차단 성능 열팽창 성능
검 증	시공자는 공사 계획의 내용이 목표 성능에 적합한지를 검증한다.	특기사항이 없는 경우 검증을 필요로 하지 않는다.

비 고	대개 모든 지붕구법이 통일되어 있어 검증의 필요성에 대한 인식이 높다.	검증을 요구하지 않는 이유는 성능상의 요구가 낮은 것은 아니고, 오히려 방법이 확립되어 있지 않기 때문이다. 구법의 종별이라도 검토의 필요와 불필요에 차이가 있다.

(2) 재료분야의 성능기준 개발프로세스 확립

건축성능의 개념에 기초한 건축에서의 재료설계에 대해서 일본 건설성 건축연구소의 [재료설계의 연구]에서는 재료선정의 목표를 "사용자나 사회가 건축에 요구하는 조건을 최대한으로 만족하는 재료를 구하는 것"으로 설정하여 재료선정의 개략적인 단계를 다음 그림과 같이 3단계로 나타낸 바 있다.

제1단계는 다양한 조건에 대응하여 재료에 요구되는 성능을 명확히 설정하는 단계이다. 제2단계는 제1단계에서 구한 요구성능에 대응하는 재료를 대상으로 그 보유성능을 명확히 하는 표현하는 단계이다. 제3단계는 제1단계에서 설정한 재료에 요구되는 성능과 제2단계에서 구한 재료의 보유성능을 어떠한 가치판단기준을 통해 비교 검토하여 최적이라고 판정되는 재료를 선정하는 단계이다. 이러한 재료선정프로세스를 보다 구체적으로 나타낸 것이 다음 그림이다.

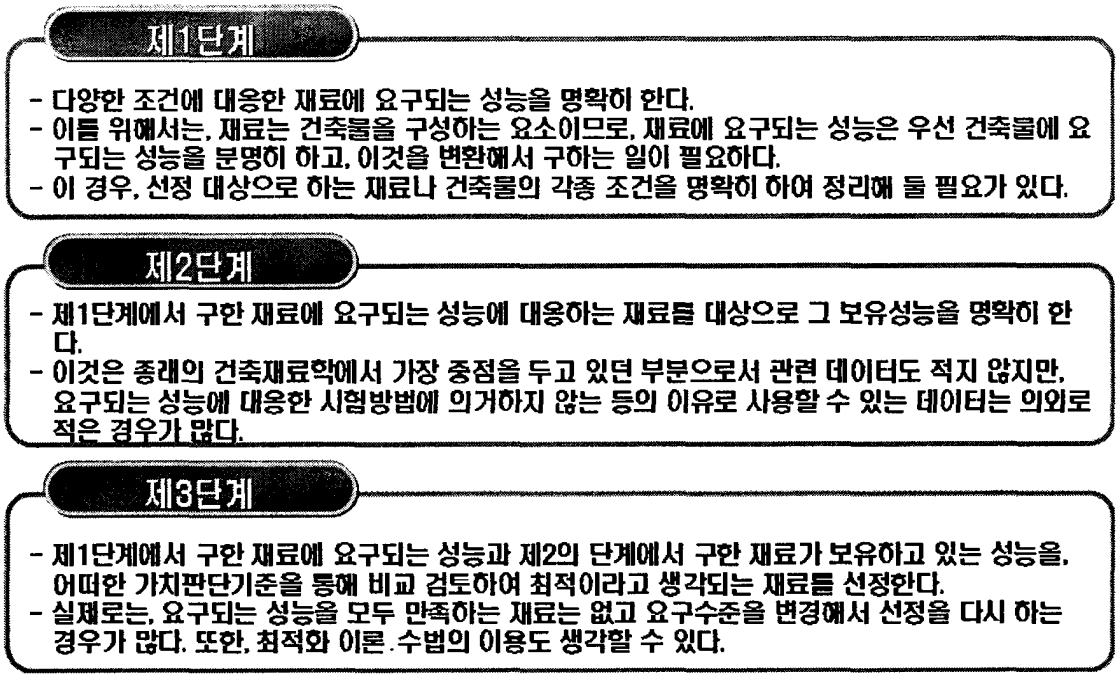


그림 3.6 재료선정의 개략적인 단계

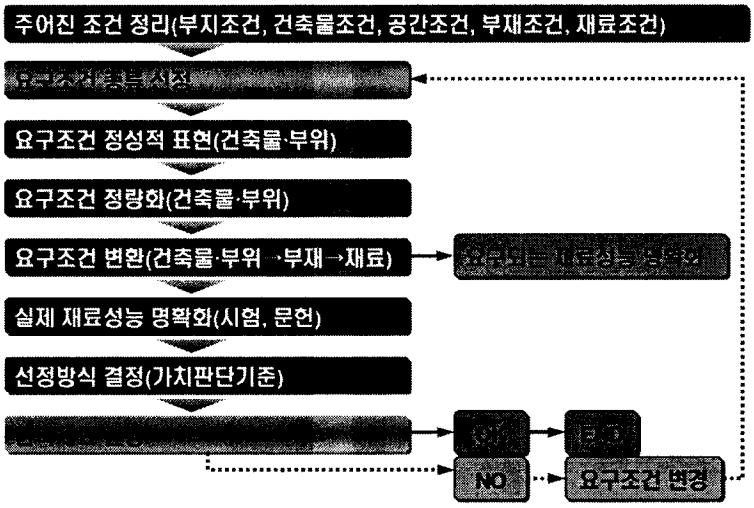


그림 3.7 재료선정 프로세스

건축물의 성능설계의 구현을 위해서는 다음 그림에 나타내는 바와 같이, 첫째 건축물 및 부위별 요구기능 설정, 둘째 부위별 구성방법에 따른 성능항목 분류, 셋째 요구기능에 대응하는 성능항목 추출, 넷째 성능항목별 적정 평가시험방법 도출, 다섯째 등급분류 기준 제시, 여섯째 성능설계 시스템 구축 등에 관한 사항을 순차적으로 확립해 나갈 필요가 있으며, 이러한 시스템 적용을 위한 최종 단계로서 성능설계의 지침이 제정되어야 할 것이다.

본 연구에서는 건축물의 성능기준의 개발 프로세스를 상기 개념을 토대로 국내 실정 등을 가미하여 "① 건축물의 구성인자에 대한 분류, ② 요구조건·기능에 따른 성능항목 추출, ③ 성능평가항목별 적정 평가시험방법 도출" 등으로 나누어 제시하고자 한다.

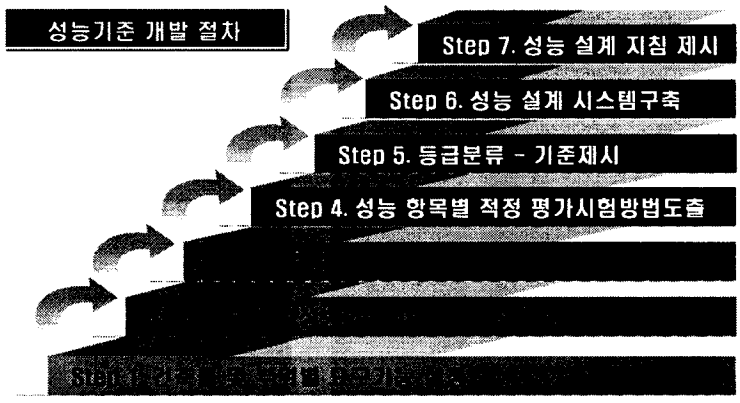


그림 3.8 건축물의 성능기준 개발 프로세스

다. 환경분야

(1) 환경분야의 성능기준 적용사례 분석

(가) 국내 성능기준 적용사례

건축법, 표준 시방서 등 기존의 규정은 사용재료 등을 규정하고 있는 이른바 시방규정이며 이 시방규정에 규정되어 있지 않은 재료, 설비 방법 등을 건축물 등에 사용하려면 건설 교통부 장관의 인증을 받아 사용해야 한다. 최근 사회구조가 발달, 변화되면서 다종 다양한 재료와 설비 방법이 시시각각 출현되고 소멸되는 변화무쌍한 정보화 시대에 들어서면서 건축물 설계의 자유도확대와 고비용의 구조개선 등이 요구되고 있다. 지금의 가장 기본적이고 최저한의 품질수준을 규정하고 있는 기존의 시방규정만으로는 이러한 문제점 등을 해결할 수 없는 한계에 있고 많은 부분에서 불합리한 점이 지적됨으로써 소요의 목표성능만을 만족하면 다양한 재료, 설비방법 등을 자유롭게 채용할 수 있도록 하는 규제방식인 (성능규정)이 시대적으로 주목을 받고 있다.

표 3.14 건축물의 건축성능 평가기술발전 동향 (국내)

구분	내용
친환경 건축물 인증제도	건축물과 관련된 환경 협약 추세에 따라 1999년부터 친환경건축물 인증과 관련한 제도를 건설교통부와 환경부가 각각 마련하여 시범적으로 운영해 왔다. 그러나 유사한 제도가 중복되어 시행될 경우 혼란이 발생할 수 있고 관련업계에 부담이 가중될 수 있기 때문에 2002년 친환경 건축물 인증제도로 통합되면서 본격적인 운영이 가능하게 되었다.
건물에너지 효율등급 인증제도	건물소유주의 자발적인 신청에 의해 에너지절약 정도에 대한 등급을 부여하는 제도로서, 관련근거는 산업자원부에서 2001년데 고시한 건물에너지효율등급인증제도에 관한 규정과 에너지이용합리화를 위한 자금지원지침이다. 18세대 이상의 공동주택을 대상으로 하고 있으며, 추후 단독주택, 업무용 건물 및 숙박용 건물 등으로 확대 적용할 계획이다.
주택성능 등급 표시제도	시행일자는 2007년 1월부터 시행되고 있다. 인증기관은 한국건설기술연구원, 한국시설안전기술공단, 대한주택공사, 대한주택보증주식회사, 한국감정원이고 성능 등급 표시는 평가 분야별/ 항목(사항)별 3~4단계로 되어 있다. 실내 환경과 관련되는 카테고리는 공기환경, 온열환경, 음환경, 수질환경이고 각 카테고리당 평가 항목이 들어가며 평가 항목당 배점이 들어간다.

(나) 국외 성능기준 적용사례

①주택성능표시제도

일본의 주택성능표시제도는 '주택의 품질확보 촉진 등에 관한 법률'에 의거하여 마련된 것으로서 주택의 품질확보와 소비자가 안심하고 주택을 취득할 수 있는 시장조건 확보, 주택에 관계된 분쟁 처리제도의 정비를 도모하는 것을 목적으로 한다. 이 제도는 국토교통성 주택국 주택생산과의 주도 하에 개발되었으며 2000년 10월 본격적으로 운용을 개시하였다. 성능규정의 실행"주택성능표시제도"는 소비자가 주택건물을 평가하기 위한 도구로써 주택에 부여된 성능을 공통의 평가기준으로 비교할 수 있도록 성능 항목별로 등급을 제시한 것이 [주택 성능표시제도]이다. 또한, 주택 건물의 성능이 어느 정도인지 객관적으로 제3자가 판단 할 수 있도록 한 것이 제도의 목적이다.

주택성능에 대해 시공자와 건축주간 발생되는 주택성능의 분쟁으로 인한 법정소송 및 행정민원을 줄이기 위해 9가지 항목에 대해서 성능평가를 실시하고 평가 결과에 대한 인증서 발급을 통해 주택의 성능을 인증해 주는 제도이다. 여기에 건축기준법과 주택품질확보촉진법에서는 법률의 제정목적이 다른 점이 있다. 건축기준법은 타인에 피해를 주지 않기 위한 규정을 만들어 거주자의 안전, 건강의 확보를 목적으로 하여 정하여진 건축물의 기본법이다. 주택성능표시제도의 목적은 소비자가 성능을 공통의 척도로 확인할 수 있도록 보다 높은 성능의 주택을 안심하고 사용할 수 있도록 하는 취지가 건축 기준법과 다른 점이라고 할 수 있다.

② CASBEE

일본에서는 2001년 4월 『건축물의 종합적 환경평가연구위원회』 국토교통성의 주택국 아래 산학관 공동 프로젝트로서 발족하였다. 이 연구의 성과로서 『건축물 종합 환경성능 평가시스템』인 CASBEE(Comprehensive Assessment System for Building Environment Efficiency)를 개발하였다. CASBEE 개발의 주요 목적은 건축물의 라이프 사이클에 걸친 지속 가능한 사회를 실현하기 위하여 정책 및 시장 쌍방의 수요를 지원하는 것이다. CASBEE는 프리 디자인, 디자인, 포스트 디자인으로 이어지는 건축 디자인 프로세서의 흐름에 따라 개발된 4가지 평가 툴로 구성되어 있다.

표 3.15 CASBEE의 평가 툴의 개요

TOOL-0 예비설계 툴	건축물의 설계 전에 사업자나 기획・ 설계자를 지원하는 것을 목적으로 한다. 적절한 부지선정이나 프로젝트의 기본적인 영향을 평가하는 툴이다.
TOOL-1 환경배려설계 툴	설계자나 엔지니어나 설계기간 중에 평가 대상 건물의 BEE(환경 성능 효율)향상을 위하여 참조할 수 있는 비교적 간단한 자기평가 체크 시스템이다.
TOOL-2 환경분류 툴	건축물 환성 후 BEE를 바탕으로 그 건물의 환경대응 성과를 평가하는 툴로서 자산평가에도 활용할 수 있도록 한다.
TOOL-3 환경성능진단・ 개보수 설계 툴	장래에 중요성이 높아질 것으로 예상되는 ESCO 사업이나 리모델링 산업으로서의 전개도 포함시킨 건축물의 리모델링 계획이나 운용의 모니터링・ 커리셔닝 등에 대하여 제안할 때 활용 가능한 툴이다.

표 3.16 CASBEE 구성 툴의 적용단계

구분	주요 이용자	설계전	설계	설계후		
		기획단계	설계단계	준공단계	운용단계	개보수 단계
예비설계	건축주 기획자, 설계자	기획 초기단계에서 검토가능한 사항(부지선정, 프로그램 등)의 평가	설계 초기단계에서 검토 가능한 사항	TOOL-0		
환경배려 설계툴	건축주, 설계자		기획・ 설계단계에서 검토 가능한 사항 ①에너지소비 ②자원순환 ③지역환경 ④실내환경 평가	상세설계(시공시의 설계변경 등을 포함)에서 검토 가능한 사항	TOOL-1	
환경 분류툴	건축주, 설계자, 시공자, 제3자기관			위의 환경배려설계툴은 이용한 임시평가와 임시분류	대략 1년 이상의 운용실적을 포함한 평가와 분류	TOOL-1
환경성능 진단・ 개보수 툴	건축주, 설계자 (건축주가 컨설턴트에 위탁)			TOOL-3	대략 10년 이상의 운용실적을 포함한 평가와 분류	설계단계, 설비 등의 상세설계 단계의 평가를 거친 개보수시의 평가

(다) 건축물 실내 환경 성능 시험 방법 및 평가 방법, 규정

표 3.17 성능관련 국내 건축 법규 및 평가방법 현황

성능요건	관련 법규 및 평가방법
온습도	- 건축법(건축물의 설비기준 등에 관한 규칙) : 제21조 건축물의 열손실방지(지역별 건축물 부위의 열관류율표 참조) - KS F ISO 6242-1(건축공사-사용자 요구의 표현-열 요건) - 건물에너지 효율등급 인증에 관한 규정 (산업자원부 고시 제 2005-10호)에 의한 건물에너지 효율등급 - 건축물의 설비 기준 등에 관한 규칙 제22조 - 건축물의 에너지절약설계기준(건설교통부 고시 2003-341호) - 건물에너지 효율등급 인증에 관한 규정(산업자원부고시 제2005-10호) - 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제21조(건축물의 열손실방지) - 열전도율의 범위(KS L 9016, KS F 2277) - KS M 3808,3809 및 KS L 9102에 의한 해당 단열재 및 기타 단열재
시각	- 건축법(건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙) :제17조 채광 및 환기를 위한 창문 등 1항
공기 청정도	- 건축법(건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙) : 제17조 채광 및 환기를 위한 창문 등 2항 - KS F ISO 6242-2(건축공사-사용자 요구의 표현-공기청정요건) - 신축 공동 주택의 실내공기 질 권고 기준(시행규칙 제7조의 2관련) - 건축자재의 휘발성 유기화합물 및 포르알데히드의 방출량에 대한 시험성적서가 소형첨버법(KS M ISO 16000-1, 16000-3, 및 또는 환경부 실내공기질 공정시험방법) - 원자흡광 분석 방법 통칙(KS M 0016) - 고주파 유도결합 플라스마 방출 분광분석 방법 통칙(KS M 0032) - Ceramic tiles - Part 15: Determination of lead and cadmium given off by glazed tiles(ISO 10545-15) - 휘발성 유기화합물의 방출 측정법- 방출 시험 챔버법(KS M ISO 16000-9) - 흡착제 TENAX TA상에서의 활성 시료 채취, 열탈착 및 MAD/FID를 이용한 가스크로마토그래피에 의한 실내 및 챔버 공기 중의 휘발성 유기화합물 측정(KS M ISO 16000-6) - 포르알데히드 측정법-확산 샘플링법(KS M ISO 16000-4) - 휘발성 유기 화합물 방출 특성 - 시료 채취, 보관 및 시험편 제작

	(KS M ISO 16000-11)
음환경	- 건축법(건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙) :제19조 경계벽 및 칸막이벽의 구조 2항 - 주택법(주택건설 기준 등에 관한 규정) :제14조 세대간의 경계벽 2항 - 주택법(주택거설 기준 등에 관한 규정) :제14조 세대간의 경계벽 3항 - 공동주택 바닥 충격음 차단 구조 인정 및 관리기준 (건설교통부 고시 제 2005-189호) 제 5조 - 공동주택 바닥 충격음 차단 구조 인정 및 관리기준 (건설교통부 고시 제 2005-189호) 제 26조 - 벽체의 차음구조 인정 및 관리 기준 (제14조 제1항 제 4호 및 건설 교통부 고시 제 1999-393호) - 바닥충격음 차단성능 현장측정방법-표준경량충격원에 의한 방법/표준중량충격원에 의한 방법(KS F 2810-1/2) - 건물 및 건물부재의 바닥충격음 차단성능 평가방법 제 1부:표준경량 충격원에 대한 차단성능(KS F 2863-1) - 건물부재의 공기전달음 차단성능 실험실 측정방법(KS F 2808) - 건물 및 건물부재의 공기전달음 차단성능 평가방법(KS F 2862) - 건물부재의 공기전달음 차단성능 실험실 측정방법(KS F 2808-2001)

(2) 환경 분야의 성능기준 개발프로세스 확립

건축물 실내 환경의 성능 기준 개발을 위해서는 무엇보다도 건축물 실내 환경에 대한 사용자의 요구사항을 명확히 분석해야 한다. 분석된 것을 바탕으로 건축물의 목적에 따른 성능레벨 설정 및 기술을 해야 한다. 성능 레벨 설정 및 기술시 시공자는 이해할 수 있지만 사용자가 이해하기 힘든 부분도 있으므로 사용자의 입장을 고려한다. 또한 성능 레벨을 달성할 수 있도록 건물을 부위별로 나누고 건물 부위별 성능평가 항목을 추출하도록 한다. 추출된 성능평가항목에 대해서 적합한 항목별 성능을 검증하는 방법을 제시하도록 한다. 성능 검증 방법은 성능 등급과 밀접한 관계가 있다. 검증된 성능 등급을 바탕으로 건축물 실내 환경 성능 설계 기준을 제시하도록 한다.

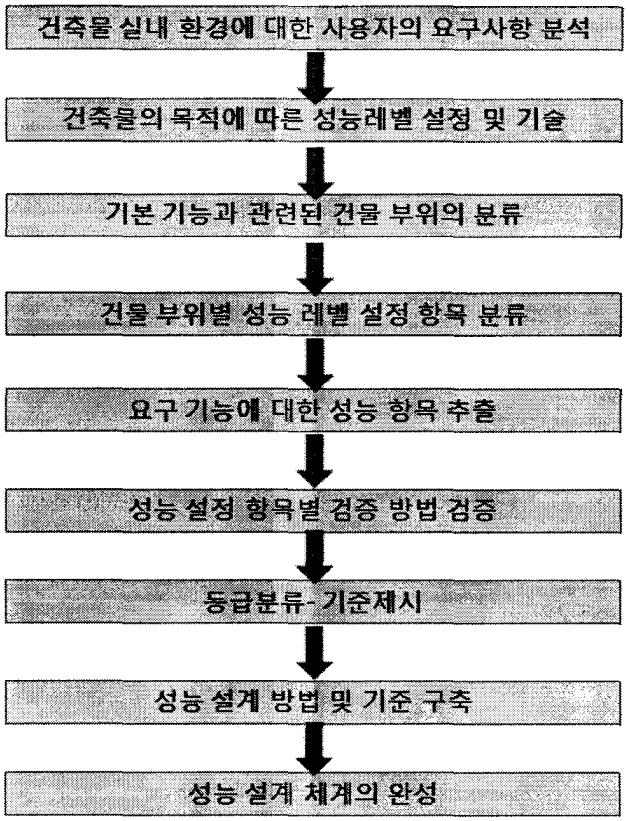


그림 3.9 실내 환경 분야 성능 개발 프로세스

4. 건축물분야 성능기준 작성지침

가. 성능기준의 구성

(1) 용어의 정의

건축물의 성능기준 작성지침에 있어서 성능중심설계와 관련된 용어의 의미에 대한 혼란을 피하기 위하여 기본적 용어를 다음과 같이 정의한다.

(가) 목적(대상의 성능)

대상 성능의 측면에서 해당 성능이 실현·달성되어야 하는 주목적과 그것을 달성하기 위한 세부목적으로 구성된다.

(나) 요구기능

주목적 및 세부목적별로 그것을 실현하는 기능을 정성적으로 정의한 것이다. 특정

"목적"을 구현하는데 필요한 시스템 상의 "기능"은 일반적으로 복수의 서브시스템으로 구성되며 각각은 요구에 맞는 성격을 지녀야 함과 동시에 상호 관계 역시 부합되어야만 성립이 가능하다. 특정 요구기능에 대한 유효성은 그것을 달성하기 위한 전제조건이 현실과 부합할 경우에만 인정된다.

(다) 요구성능

요구기능의 충족도를 정의한 것으로 통상 "input/output"의 차이를 정량적으로 표현한 것이지만 그것이 불가능한 경우는 정성적으로 기술할 수도 있다. 현재로서는 정성적으로 밖에 기술할 수 없는 경우가 많지만 그 경우에는 (마)항의 "실현방법"의 일부로서 정량적으로 표현한 "가상의 요구성능" 및 그것에 대응하는 "가상의 검증방법"을 규정한다. 이들에 대해서도 그 전제조건이 충족되는 경우에만 유효성을 인정할 수 있다.

(라) 검증방법

정량적인 요구성능에 대한 적합성의 검증방법은 실물 검증과 논리 검증으로 나눌 수 있다.

- 실물 검증: 실제 건축물을 대상으로 한 검증 (계측)
- 논리 검증: 시뮬레이션, 부분적 실험, 계산, 평가(적합성의 해석, 판단) 등에 의한 검증

실제 건축물에 있어서는 안전과 관련된 성능에 대해서는 실물 검증이 불가능한 경우가 많으며 그 경우에는 주로 논리 검증을 이용하게 되며, 특히 논리 검증이 유효성을 갖기 위해서는 전제조건의 성립이 필요하다. 또한 건축승인에 있어서의 "검증법"이란 건축승인 장소에서의 계획의 적법성을 판단하는 방법(주로 설계방법, 설계조건 등)을 의미한다. 이것은 제한된 의미에서의 논리 검증이라 할 수 있다.

요구성능이 건축물의 서브시스템에 대하여 기술되는 경우에는 그 생산·시공 과정에서 실물 검증 또는 논리 검증을 실시하는 것이 유효할 때가 있다. 또한 건축법은 그 취지 및 성격상 상태규정에 가까우므로 성능규정화에 있어서는 사용 중인 건축물의 적법성(성능수준)에 대한 검증(예: 정기보고제도)이 중요한 과제로 활용될 수 있다.

(마) 실현방법

검증방법에 의해 요구되는 성능수준이 충족되었는지 여부를 명확히 알 수 있는 건축 기술적 수단(설계이론·설계방법, 구법, 시방, 재료 등)으로서 표준화·규격화(품질관리)의 과정을 거친 것을 말한다. 요구성능이 정성적으로 기술된 경우에는 그것을 특정

전제조건의 가정 하에서 대체하는 "예측되는 성능에 대한 성능규정방법"과 그것에 대응하는 "성능검증방법"이 실현방법으로서 규정된다.

이러한 기본 용어를 사용해서 성능기준체계를 도식화하면 아래 그림과 같다.

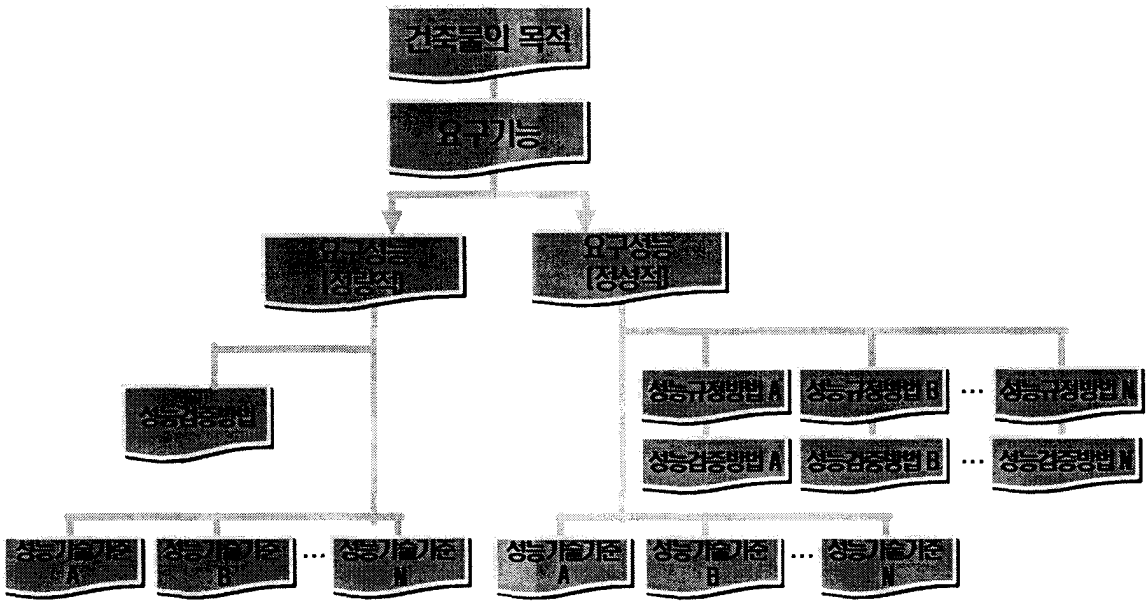


그림 3.10 성능기준체계

(2) 성능기준 개발을 위한 기본 조건

일반적으로 성능론에서의 성능기준은 앞에서 기술한 순서에 따라 구체적으로 전개(변환)되어 간다. 즉 "목적 → 세부목적 → 요구기능 → 요구성능 + 검증방법 → 복수의 실현방법"의 순으로 전개된다.

그러나 현실적으로는 그 반대로 이미 알고 있는 실현방법에 근거하여 요구성능과 검증방법(또는 "예측되는 성능에 대한 성능규정방법"과 "성능검증방법")을 동시에 확정하고 그것에 대응하는 목적, 요구기능의 구체적인 표현(기준 등)을 해나가는 경우가 많다.

이러한 현실에 대응해서 합리적인 성능기준체계를 구축할 경우 각종 성능항목에 대해 공통적으로 유의하여야할 과제는 다음과 같다.

표 3.18 성능 기준의 조건

- 성능 기준의 조건 -
(1) 성능기준에서 고려할 범위는 "완결형 서브시스템"으로 할 필요가 있다.
(2) 정량적 정의와 정성적 정의를 합리적으로 조합할 필요가 있다.
(3) 실물 검증과 논리 검증을 합리적으로 운용할 필요가 있다.
(4) 법적 적합성 판정의 재량성에 대한 제도적 뒷받침이 필요하다.
(5) 사용과정 혹은 유통과정에 있는 건축물의 법적 적합성을 검증하는 제도가 필요하다.

(가) 완결형 서브시스템

"목적"과 그것을 구현하는데 필요한 "기능"은 통상 건축물의 기능이 그것을 구성하는 "서브시스템"에 의해 실현되므로 관련하는 서브시스템 전체를 파악하지 않고는 적절히 규정할 수 없으며, 또 규정한 "요구기능"을 제대로 이해할 수도 없다. 이들 서브시스템의 기능에 대하여 요구성능, 검증방법, 실현방법 등을 규정하게 되지만 그러한 성능기준의 계층구조를 "전개(변환)"해나가기 위해서는 각각 계층의 관계가 성립되기 위한 전제조건을 충족시킬 필요가 있다. 목적의 실현에 관계되는 모든 서브시스템에서 각각에 필요한 전제조건이 모두 독립적으로 성립되는 시스템을 "완결형 서브시스템"이라고 한다.

(나) 요구성능의 정량적 정의 및 정성적 정의

"요구성능"은 정량적인 정의가 바람직하다. 현 단계에서 정량적인 정의가 불가능한 것에 대해서는 정성적으로 규정하도록 한다.(현실적으로 대다수의 성능항목이 여기에 해당한다.)

정성적인 요구성능에 관해서는 일정한 전제조건 하에서 법이 정하는 목적 혹은 요구기능에 적합하다고 인정되는 기준을 정하는 것으로 한다. 이것을 특정 시방에 의한 "실현방법"만으로 정하는 것은 합리적인 규제 목적의 실현을 위해 바람직하지 못하다. 그 때문에 특정의 전제조건 하에서 타당성 있게 정성적 요구를 정하여 본래의 요구성능을 대체시킨다. 이것을 "가상의 요구성능"이라고 가정한다.

(다) 실물검증/논리검증

건축 규제의 대상물뿐 아니라 계약의 성과물로서 건축물 본연의 자세를 생각하는 경우 현재 건축물의 성능이 매우 중요하다. 설계 단계의 심사로 기준 적합성이 밝혀져

도 현실의 건축물에서 소정의 품질, 성능 등이 실현되어 있지 않으면 위반 혹은 하자가 있는 건축물로 간주한다.

따라서 정량적 정의가 가능한 성능 항목에 관해서는 실물 검증이 가능한 검증 방법을 정하는 것이 바람직하나 대부분의 경우 실물 검증이 불가능한 경우가 많으며, 또한 현실적으로 정량적 정의가 불가능한 경우가 많다. 그 경우에는「예측되는 성능 요구」로 정하지만 이러한 방법으로 실물 검증이 어려울 때는 특정의 설계 방법을 근거로 건축행위의 주체로서 설계 계획의 기준 적합성을 검증하게 된다. 이러한 검증법은 논리검증(형식검증) 방법이라고 부른다.

(라) 적합성 판단의 재량성

실물검증이 불가능한 성능기준 및 상세하고 구체적 기준이 정해지지 않은 규정에 관한 적합성 판단은 불가능하며 검증 방법 혹은 검증방법에 준한 기술적 사항에 대해 상세하고 구체적으로 기준을 설정할 경우 오히려 사양규정에 가까워져 성능기준화의 취지에 어긋나게 된다.

따라서 그 적절한 운용을 돕기 위한 증명서 확인 제도 및 적법성 해석의 신뢰성 평가 등의 제도가 필요하다.

(마) 건축물의 사용 과정 등에 있어서의 적법성의 검증

성능 기준화에 있어서 건축 계획의 시공 과정(중간 검사) 및 사용 과정(정기 보고)에 대한 적법성 검증 방법은 종래의 사양 기준에 대한 적법성 검증 방법과는 다른 방법이 요구된다. 이 목적을 위해서 실물 검증 방법 또는 이것에 가까운 검증 방법을 개발하는 것이 중요한 선결 조건이 된다.

일예로 특별히 사양 기준에 전혀 따르지 않는 건축에 관해서는 적어도 그 기술의 개발자에게 '실물검증방법'의 제안 의무 부과 등의 조치가 필요하다. 또한 건축물의 하부조직 생산 과정에 대해 검증을 실시하는 것은 상당히 큰 유효성을 기대하게 되는 것으로 적절한 검증 방법을 개발해 계획 단계, 시공 단계의 검증시 활용 할 수 있도록 해야 한다.

(3) 성능기준 작성 프로세스

(가) 건축물의 기능별 성능레벨 설정

건축물을 어떠한 기준으로 분류하느냐에 따라 사용자 및 설계자·시공자 등이 정성적인 표현의 성능을 정량적으로 인지할 수 있는 방향이 설정된다. 즉 건축물의 성능을 제시하기 앞서 우선 건축물을 어떠한 기준으로 분류 할지에 대한 고려가 필요하다.

다음 그림은 부위별, 기능별 대응을 통하여 성능항목을 도출하는 예를 보여주는 그림으로서 총 (n×m)개의 성능항목이 도출될 수 있음을 보여준다.

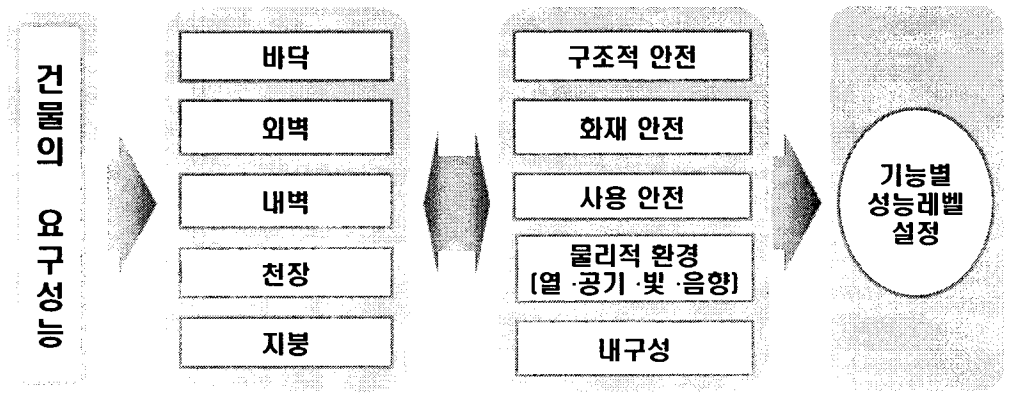


그림 3.11 건축물의 기능별 성능레벨 설정 방법

(나) 성능 도출 작성 지침

건축물의 성능기준 제시를 위한 가장 기본적인 단계로 인간의 요구로부터 성능을 도출함에 있어 건축의 사용자의 요구뿐 아니라 소유자·관리자·시공자의 요구 및 사회적 요구를 모두 고려하여 요기기능을 도출하고, 도출된 기능을 바탕으로 그 기능에 해당하는 요구 성능을 명확히 하는 단계를 거쳐, 하나의 기능을 만족하는 모든 요구성능의 특성을 파악하여 성능을 제시 하여야 한다.

아래 그림은 위 내용을 이해하기 쉽게 도식화 한 것으로 요구기능으로부터 성능레벨을 설정해가는 세분화단계를 나타내고 있다.

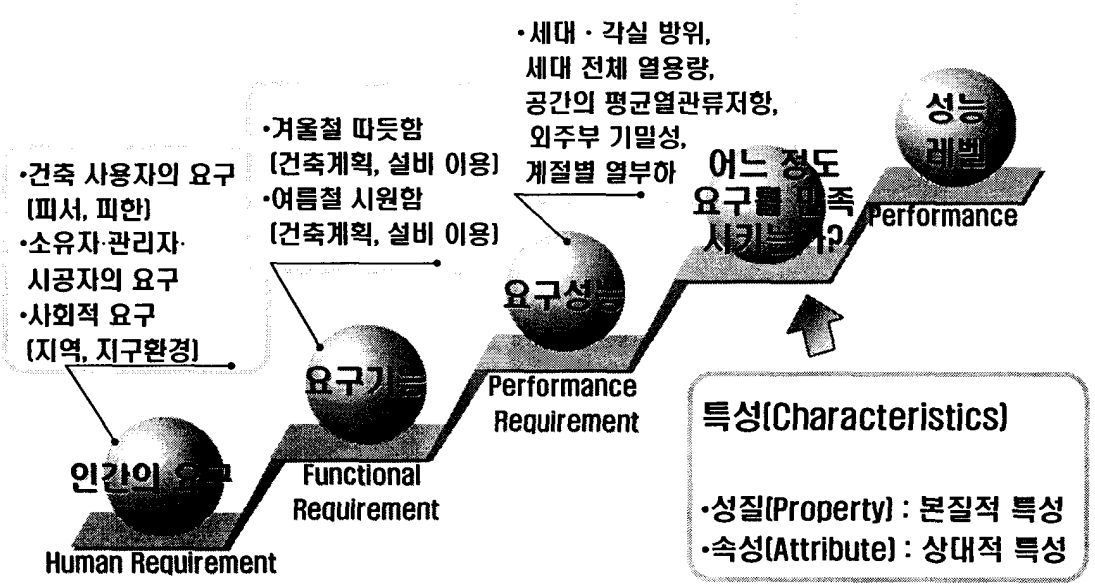


그림 3.12 성능레벨의 도출

(다) 성능기준 개발 도출 예

'(가) 건축물의 기능별 성능레벨 설정' 및 '(나) 성능 도출 작성 지침'의 단계를 거쳐 요구기능과 성능항목이 도출되면 항목별 시험 · 검증 방법을 통하여 성능수준(레벨)을 도출하고 이를 건설기준(시방 등)에 명시하여 성능의 실현이 시공 단계에서 검토 될 수 있도록 하여야 한다.

다음은 내화성능기준 개발에 대한 예로 인간의 요구를 바탕으로 내화에 대한 요구기능(내화 : 건축물이 통상의 화재에 의한 열에 대해 화재가 종료될 때까지 견딜 것)에 대해 성능항목(구조 부위별 내화성능-비손상성, 차열성, 차염성)을 도출 하여 이 항목에 대응하는 시험 · 검증 방법을 통해 성능수준(성능 항목별 수준 설정)을 설정하여 건설기준(시방 등)에 제시한 것이다.

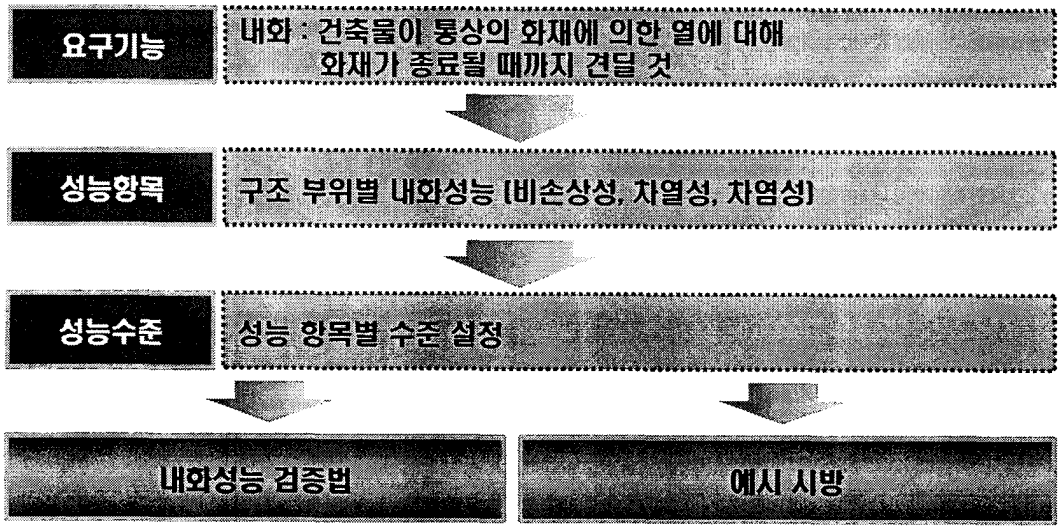


그림 3.13 내화성능기준 개발 도출

나. 분야별 작성지침

(1) 강구조분야

(가) 강구조분야의 성능기준 구성요소 설정

강구조 건축물의 성능기준의 구성요소는 기본구조성능 및 이에 대응하는 한계상태, 평가대상을 명확히 하여 성능평가항목을 제시하는 것이 구성요소 설정의 제 1단계 일 것이다. 제 2단계는 각 기본구조성능의 요구성능에 따른 응답치와 한계치를 제시하고, 응답치를 추정하는 계산기법을 제시하여야 한다. 응답치의 추정기법은 미국, 뉴질랜드 및 일본에서 사용하고 있는 탄소성등가선형해석법으로 하고, 등가선형해석법을 설계실무자가 알 수 있도록 제시하여야 한다. 제 3단계는 성능표시 방법에 있어서의 건축주가 알기 쉬운 표현방법을 개발해야 할 것이다.

(나) 강구조분야의 성능기준 작성지침 제시

강구조 건축물의 성능기준 작성은 다음과 같은 지침을 가지고 작성해야 할 것이다. 첫째, 성능이 규정된 건축기준법 체계 안에서의 요구성능에 적합할 것을 검증하는 기술적 수단이 절대적으로 필요하며, 검증기술은 해석적 기술 및 실험적 기술을 포함해야 한다. 둘째, 지금까지의 건축기준법이 사회적 요구를 바탕으로 한 사양규정의 최저기준인 것과 비교하여 보다 높은 성능의 설정수단, 요구성능의 달성의 확인수단으로서 구체적인 평가법이 기술되어져야 할 것이다.

일반적으로 미국 및 일본에서 사용되는 강구조 건축물에 요구되는 기본구조성능으로서 대별하면 "안전성", "수복성", "사용성"을 구분할 수 있으며, 이것은 인명, 재산, 기능 및 거주성에 대응하는 것이다.

또한 기본구조성능과 성능평가대상이 결정되면 성능평가항목이(즉, 기본구조성능과 평가대상의 조합으로 이루어지는 예를 들어 15개의 조합) 자동적으로 도출되므로 강구조 건축물의 성능기준 작성시에는 반드시 기본구조성능, 평가대상, 그리고 성능평가항목이 명시되어야 할 것이다. 전술한 것과 같이 성능평가대상은 강구조 건축물 전체를 대상으로 하는 것은 너무 광범위해지고 성능기준 적용시 혼란을 초래할 우려가 있으므로, 구조골조, 건축부재, 설비기기, 적재물 등을 포함한 최소한의 요소는 포함되어야 할 것이다.

특히 구조골조의 성능을 평가함에 있어서는, 미국 및 일본 모두 등가선형해석법을 도입하여 구조골조의 요구성능을 판정하고 있으므로, 강구조 건축물 성능기준 지침의 구조골조 성능 평가방법으로서 반드시 등가선형해석 기법을 개발하여 국내 환경에 맞게 제시하여야 할 것이다. 특히 신재료, 특수재료 등을 구조재료로서 사용하는 경우에는 기존의 설계시방서 등을 적용할 수 없는 경우가 많다. 이러한 경우를 대비해서 실험에 의한 성능검증 체계 및 기준을 제시하는 것도 필수적이라 할 수 있다.

강구조 건축물이 보유하고 있는 성능이 성능평가 원칙에 의거하여 성능평가항목별로 표시되어 진다면, "성능의 표시"에 의해 강구조 건축물이 구조성능을 명확히 함과 동시에 건축구조에도 시장경제원리가 도입될 수 있다는 것에 주안점을 두어, 기본구조성능, 성능평가대상, 성능평가항목에 따른 분류 및 평가방법을 분명히 기술해야 할 것이다.

(2) 재료분야

(가) 재료분야의 성능기준 구성요소 설정

재료분야에서 '성능중심의 건설기술기준'을 마련하기 위해서는 무엇보다도 건축물의 각 구성 부위나 설비 등에 대한 "사용자의 요구(User Requirements)"가 명확히 전제되어 있어야 한다. 사용자의 요구는 해당 건축물의 거주자뿐만 아니라 건축물의 소유자나 관리자, 나아가 시공자 등과 같이 입장이 서로 다른 사람들의 요구도 고려할 필요가 있다. 또한 사용자의 요구는 대상 공간 혹은 부위의 용도 등에 따라 요구되는

기능에 의해 보다 구체적으로 표현될 수 있다.

건축물 구성부위는 다양한 관점에서 분류할 수 있으나 본 연구에서는 ISO [건축성능 규격에 제시된 서브시스템의 분류]에 의거하여 분류하고자 한다.

건축물 구성부위의 분류가 결정되면 각 부위에 요구되는 기능을 설정할 수 있다. 예컨대 지붕의 경우라면 크게 구축기능과 옥내·외 작용인자의 차단 또는 조절기능이 요구되며, 이렇게 대분류된 기능요소는 중분류, 소분류의 과정을 거치면서 보다 상세하고 구체적으로 표현되는 기능항목으로 세분화할 수 있다. 일반적으로 건축물에 요구되는 기능을 세분화하면 약 500여 가지의 기능항목으로 나타낼 수 있다고 한다.

건축물의 구성부위별 요구기능이 설정되면 각각의 기능을 구현하기 위해 요구되는 성능항목의 추출이 가능해 진다. 이렇게 추출된 성능항목에 적합한 시험 및 검증 방법을 도출하고 이러한 시험·검증방법을 통하여 각 성능의 등급을 제시하여 설계 단계 및 기준을 제시할 수 있다.

이런 일련의 과정에서 나타나는 재료분야의 성능기준 구성요소는 건축물의 분류방법, 요구조건, 요구기능, 요구성능, 평가 및 시험·검증방법 등을 들 수 있으며 이에 대한 도출 방법의 예를 '재료분야의 성능기준 작성지침'에 명기 하였다.

(나) 재료분야의 성능기준 작성지침 제시

건축물의 구성인자인 건축물의 분류의 예를 ISO [건축성능 규격에 제시된 서브시스템의 분류]와 건축물 부위별(바닥, 외벽, 내벽, 천장, 지붕)의 관계를 도식화 한 것으로 나타내었다.



그림 3.14 건축물의 부위별 분류

위 그림은 건축물의 분류를 부위별(바닥, 외벽, 내벽, 천장, 지붕)로 크게 분류 할수도 있으며 ISO [건축성능 규격에 제시된 서브시스템의 분류]를 통해 단계별로 세분화하는 분류를 제시할 수도 있으며, ISO [건축성능 규격에 제시된 서브시스템의 분류]를 통해 분류 할 수 있음을 보여준다.

요구조건에 따른 성능항목 추출을 위하여 건축물의 다양한 요구조건을 정리하기위해서 어떠한 기준이 필요하게 된다. 예를 들어 ISO 6241[건축의 성능규격 - 그 작성의 원칙과 고려해야할 요인]에서는, 43종의 요구조건을 14종의 카테고리로서 분류하여 정리하고 있다. 또한 영국의 건축 법규에서는 A부터 N까지 13종의 요구조건을 39가지 항목으로 분류하였다.

다음은 건축물의 요구조건과 대응하는 성능항목으로부터 해당 건축물(엄밀하게는 구성부위)의 성능을 정량적으로 평가하는 방법을 도출하기 위한 엑스퍼트시스템의 골격을 나타내는 그림이다. 큰 틀은 건축물의 분류가 되며, 세로축은 해당 건축물의 각 구성부위에 요구되는 주요 기능을 "대분류 → 중분류 → 소분류"의 3단계로 세분화하여 구체적으로 나타낸다. 가로축은 해당 부위의 분류(예컨대 구성 재료·부재별 또는 구법별 등) 및 이에 대응하는 물성(기계적·물리적·화학적 특성)과 주요 성능항목을 나타낸다. 세로축과 가로축의 대응으로부터 대상 부위의 성능을 파악하기 위해 필요한 성능항목을 도출할 수 있다. 도출된 성능항목은 별도로 설정한 성능시험방법 및 성능레벨을 이용하면 정량적인 평가가 가능하게 된다.

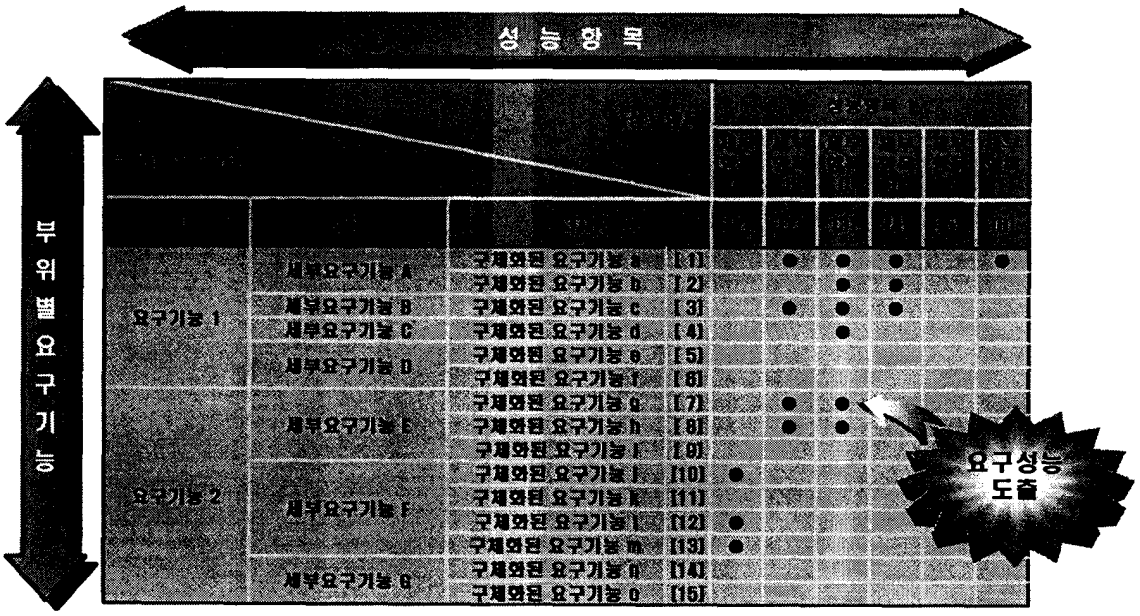


그림 3.15 성능매트릭스의 구성

이러한 프로세스를 통하여 부위별 요구조건에 대응하는 성능항목을 도출하고 종합함으로써 대상 건축물이 지니고 있는 성능을 명확히 표현할 수 있다.

다만, 성능항목의 등급을 제시하기 위해서는 사전에 성능항목별로 타당성 있는 평가시험방법이 정해져 있어야 하며, 추출된 성능항목에 대응하는 평가방법이 일반적으로 인지되어 사용되어지는지, 평가방법은 없지만 논리적으로 근거가 입증되는지 등의 검토가 필요하며 이러한 검토를 통하여 각 성능에 대한 평가방법을 도출하여야 한다.

다음 그림은 일반적인 성능평가 프로세스를 나타낸 것이다. 특정 성능항목에 대한 평가는 통상 "(1) 건축물을 구성하는 기능추출 → (2) 요구조건 도출 → (3) 평가방법 결정 → (4) 성능평가"의 4단계로 진행된다.

여기서 가장 중요한 요소로는 명확한 근거가 있는 타당성 있는 평가시험방법을 결정하는 것이라고 할 수 있다. 평가시험방법을 결정할 때에는 반드시 "실제와 합치되는지" 또 "국내 실정과 부합되는지"에 대한 면밀한 검토가 있어야 한다. "ISO에서 제시한 방법"이나 "선진국의 규격"이라는 이유만으로 평가시험방법을 선정한다면 경우에 따라서는 판정에 큰 오류를 범할 우려가 있다.

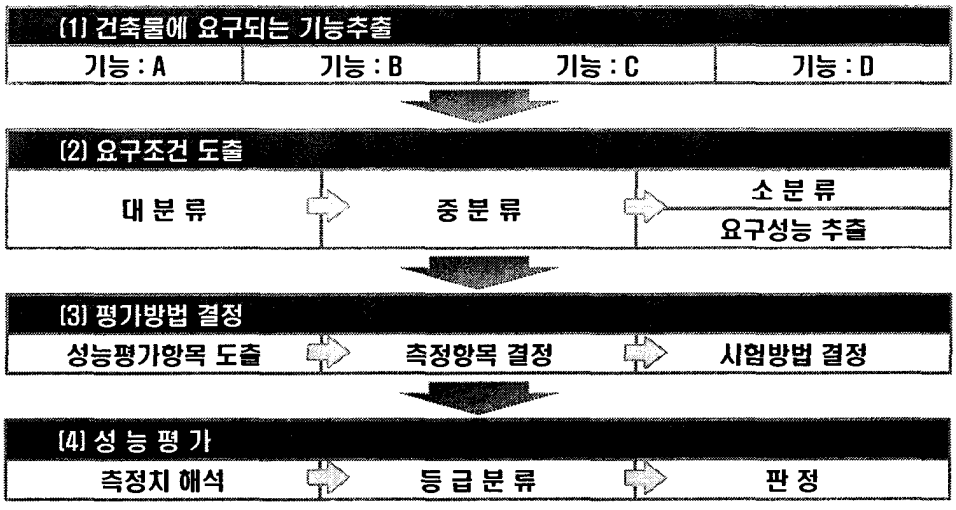


그림 3.16 성능평가항목별 적정 평가 시험방법 도출

"성능중심의 건설기준 표준화"연구는 인간의 요구로부터 도출된 성능분류를 통하여 성능에 대한 세부 항목을 제시하고, 이를 정량적으로 평가할 수 있는 규격을 KS, ISO, CEN, ASTM, JIS 등의 국내·외 규격의 검토를 통해 제시한 후 설계나 시방의 기준이 되는 지침을 제시하는 것을 목표로 하는 연구이다.

다음은 위에서 제시한 성능의 분류, 도출, 평가방법 제시, 설계 및 시방 등의 방법을 통해 성능의 설계지침을 도출하는 연구 프로세스를 나타낸 간단한 예로 건축물의 바닥에 대한 안전성을 확보하기 위한 성능인 미끄럼 방지성에 관한 것이다.

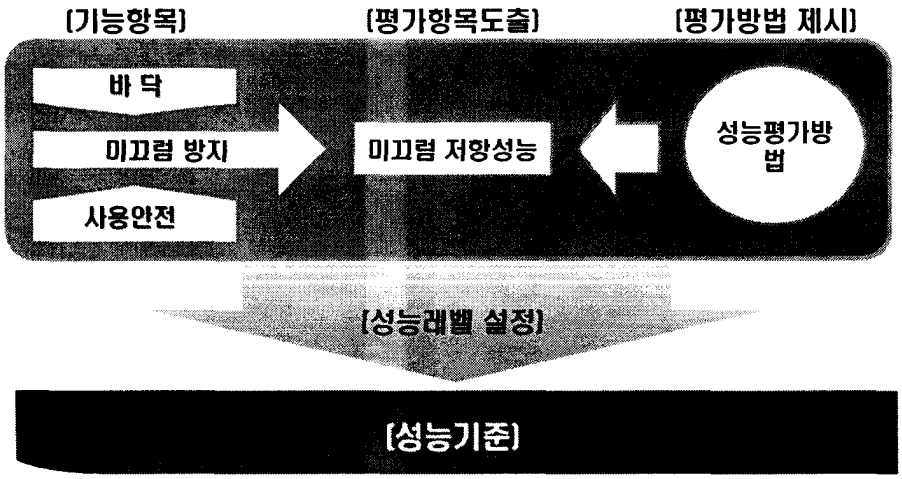


그림 3.17 미끄럼 방지성의 설계지침 도출과정

(3) 환경분야

(가) 환경 분야의 성능기준 구성요소 설정

① 건축물 실내 환경의 요구 기능별 성능평가항목 (예)

건축물 실내 환경에는 다양한 요구 기능들이 존재하고 있다. 이중에서 온열, 빛, 공기, 음 환경에 따른 요구 기능 과 부위별 성능 평가 항목을 분류하였다. 다음 표는 건축물 실내 환경의 요구 기능별 성능평가항목 분류 예이다.

표 3.19 건축물 실내 환경 항목별 성능 분류 (예)

구분	요구 기능		성능평가항목
실내공간의 물리적환경	온열환경	실온제어 습도제어	기밀성 단열성
	빛환경	채광성 휘도 조도	반사율 창면적비 투과율
	공기환경	유해물질	마감재료방출량 환기량
	음환경	소음제어	차음성 흡음성

② 성능 레벨의 설정과 성능 레벨 설정 사례

소음제어 기능 중에서 차음성에 대한 레벨, 레벨 기준, 부위별 성능 평가 항목이 어떻게 나타나는지 표현하였다. 레벨 등급은 3등급으로 나누었고 레벨 기준은 사용자가 이해하기 쉽도록 표현했다. 차음성에 영향을 주는 부위별 성능 평가 항목의 인자는 개구부 차음, 벽 차음, 바닥경량충격음, 바닥 중량충격음 등으로 나타낼 수 있으며 . 다음 표는 음 환경의 성능 레벨 설정 지표를 어떻게 분류 하는지 예로써 나타낸 것이며 이와 같은 표는 소음 요구 기능의 레벨 설정시 사례로서 참고 가능하다.

표 3.20 음 환경의 사례

요구 기능	성능 평가 항목	레벨	레벨기준	부위별 성능 평가 항목			
				개구부 차음	벽차음	바닥경량 충격음	바닥중량 충격음
소음 제어	차음성	1레벨	의자의 이동음, 물건의 낙하음이 거의 들리지 않는다.				
		2레벨	의자의 이동음, 물건의 낙하음이 작게 들린다.				
		3레벨	의자의 이동음, 물건의 낙하음이 꽤 신경이 쓰인다.				

표 3.21 성능 레벨 설정 지표

dB(A)	20	25	30	35	40	45	50	55	60
NC~NR	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35	35~40	40~45	45~50	50~55
시끄러움	무음감	매우 정적인상태			특별히 신경이 쓰이지 않는다		소음을 느낀다	소음을 무시할 수 없다	
회화·전화에의 영향			5 m 떨어져야 목소리가 들린다		10 m 떨어져 회의 가능	보통회화 (3m이내)			큰 소리 회화(3 m)전화 약간곤란
					전화는 지장 없음	전화는 가능			

③ 설계 지침을 위한 도출 프로세스 (예)

건물 부위별로 요구 기능을 분류한 뒤에 요구 기능에 따른 성능 평가 항목을 도출하도록 한다. 도출된 성능 평가 항목의 성능평가방법을 제시하고 평가 방법에 따라 성능 레벨을 설정하여 성능 설계 지침을 프로세스하는 과정을 간단한 예로 나타낸 것이다. 다음 그림은 건축물의 경량충격음에 관한 것이다.

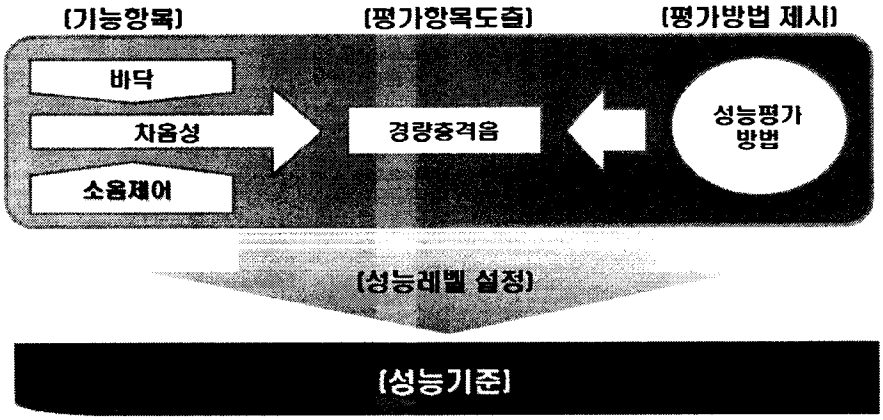


그림 3.18 바닥 경량충격음의 설계지침 도출과정

(나) 환경분야의 성능기준 작성지침

① 평가 지표의 등급설정기준 및 방법

성능 등급 평가지표의 등급은 최상위 사이를 3개 등급 ~ 5개 등급으로 구성하도록 한다. 최하위 등급의 기준은 법규가 있는 경우는 법규를 최하위 등급을 설정하도록 한다. 법규에 규정되지 않은 경우는 일반적으로 건설되고 있는 현재의 수준을 검토하여 최하위 등급으로 설정하도록 한다. 최상위 등급은 최근의(현재부터 5년 ~ 10년 정도) 기술개발이나 상황을 고려하여 달성할 수 있는 정도로 설정하도록 한다. 등급의 표시 방법은 1등급을 최상위 등급으로 하고 숫자가 높은 수로 상대적으로 낮은 등급을 표시하도록 한다.

② 성능평가지표의 설정 형태 및 설정 원칙

- 성능평가지표의 설정형태

성능평가 지표의 설정은 설계 도서를 중심으로 하여 설계도, 시방서, 관련 시험성적서, 관련계산서 등 설계승인 시 제출하는 도서를 통하여 측정 가능한 것을 기본으로 한다. 평가 형태는 성능기준과 시방 기준으로 2가지로 구분하도록 한다. 정량

적인 성능 레벨의 설정 기준은 수식이나 계산에 의하여 도출하도록 한다. 정성적인 성능 레벨의 설정 기준은 항목수를 기준으로 하거나 항목별 가중치를 주어 도출하도록 한다.

- 평가지표의 설정원칙

• 평가를 위한 기술이 확립되어 널리 이용할 수 있는 방법일 것
• 설계단계에서 평가가 가능한 것
• 외견상 용이하게 판단할 수 있는 성능관련 사항은 제외
• 거주자가 용이하게 변경할 수 있는 설비기기는 원칙적으로 대상 제외
• 객관적으로 평가하기 어려운 사항은 제외
• 상황에 따라 변화하는 요소 배제
• 국내 설정을 고려한 수준의 설정 등

제 3 절 구조물기초분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발

1. 구조물 기초 분야 선진국의 성능기준 작성지침 분석

가. 개요[37)]

사회기반시설을 위한 다차원 성능 매트릭스는 아래 표와 같다. 사회기반시설은 예를 들어 통신, 전력가스와 오일저장과 운송, 상하수도, 음식과 농업, 공장. 은행등이 있다. 이러한 시설물들의 요구되는 성능을 살펴보도록 한다. 요구성능이란 운영과 시설단계에서 공학적 한계에 이르렀을 때 그 시설이 사회적 목적을 달성할 수 있느냐는 것이다.

표 3.22 사회기반시설을 위한 다차원 성능 매트릭스(유럽)

성능 범주	공학적인 요소	사회-기술적인 요소	특징
운영과 시설의 한계상태	안전율	조직적인 효율성	지속성
	효율성	복합-위험도 관리	환경 친화적인
공학적 한계상태	보완성	재정에 대한 책임	유독산업 폐기물 (화학, 생물, 등)
	사용성과 내구성	조사 및 평가	노후화
	파괴에 대한 안정성	유지보수성	악화
사회적 목적	조건적 이벤트 (장주기)	적응성	재활용성
		미학	조화
	공학이나 과학에 대한 교육	삶의 질	
	사회에 대한 과학, 공학, 기술의 영향		

37) JGS (2004), Principles for Foundation Designs Grounded on a Performance-based Design Concept (nickname "Geocode 21")
Harmonization and Performance based Design (eds. Honjo et al.), Proc. IWS Kamakura, A.A.Balkema Publishers pp.95-106
NKB(1978): Structure for Building Regulations, NKB Report No. 34

이러한 구조물의 설계 한계상태와 한계상황은 구조물 이용자 및 구조물의 효용과 기능성, 편리성과 내구성, 파괴에 대한 안정성을 고려해야 한다.

표 3.23 설계 한계상태와 한계 상황(유럽)

<table>
<tr><th>한계
상태</th><th>효용과 기능성</th><th>편리성과 내구성</th><th>파괴에 대한 삶의
안정과 안정성</th><th>조건적 한계상태의
안정성</th></tr>
<tr><td rowspan="2">한계
상황</td><td rowspan="2">• 환경적 충격
• 사회적 충격
• 생애주기 동안의 기능의 지속성
• 초기비용과 생애주기 비용에 대한 재정
• 운영능력에 대한 안정성
• 효율성
• 유연성과 보안성
• 미학</td><td>• 과도한 변위; 변형;
• 표류(Drifts)
• 악화
• 국부적인 손상 균열; 쪼개짐;
• 항복
• 과도한 진동</td><td>• 과도한 이동; 침하;
• 지형적인 변화
• 재료적인 파괴
• 피로
• 국부적 또는 부재의 안정성 파괴</td><td rowspan="2">• 건물에서 복합피난 도로의 부족
• 파괴 후 복원력 부족으로 인한 건물의 진행성 붕괴
• 상호 연관된 사회기반 시스템의 대규모 붕괴
• 의료, 통신, 물, 에너지, 교통, 병참, 명령과 통제 시스템에 관련된 시회 기반 구조물의 붕괴</td></tr>
<tr><td>내구성의 부족
• 전반적인 설계, 상세, 재료 및 시공을 지배하는 특별한 한계상태</td><td>파괴에 대한 안정성
• 변형이나 경화가 없이 불완전 또는 조숙하게 발생하는 붕괴 미케니즘
• 바람직하지 않은 갑작스런 붕괴모드</td></tr>
</table>

그러므로 구조물과 관련된 지형, 재료 특성, 환경, 위치조건, 사용성, 구조물 수명, 조건 등이 변화할 수 있으므로 객관적 자료가 부족하게 되면 이는 중요한 지식에 관한 불확실성을 나타내는 것으로 결국에는 구조물의 재해발생 후 복구 비용증가와 최적화 구조물 성능이 부족한 상황이 된다.

따라서, 시공시에는 사전에 설계단계에서 구조물 시스템에 대한 전반적인 성능한계 상태를 분석하여야 하며 여러 가지 한계상태(기능성, 사용성과 내구성, 파괴에 대한 안전과 안정성, 조건적 한계상태에 대한 안정성)중 일부만 고려한다. 아래 표는 대표적인 설계하중과 빈도의 예를 보여주고 있다. 성능기반공학이라는 관점에서 구조물의 생애주기 동안 발생가능한 한계상태에 대하여 기대되는 성능을 표현하고 있다. 극한상태에서 권장 파괴확률을 나타내고 있는 표에서 건전도 지수 β 는 한계상태가 달라지면 값도 달라진다.

표 3.24 대표적인 설계하중과 빈도수(일본)

하중(Demands)	빈도수(재현주기, 년)			
	Normal(0)	Occasional(5-25)	Rare(205-500)	Extreme (2500-5000)
사하중	설계하중과 같은 일정 하중	리모델링 등에 의한 일정하중		
활하중	일반적인 점유자	활하중=설계활하중	설계를 초과하는 활하중	
풍화중	일반적인 바람	강한 폭풍우	허리케인 토네이도	
지진		50년 동안 50%초과	50년에 10% 초과	50년내 2%초과 확률
온도	평균 열과 추위 주기	정상적인 열과 추위주기 이상	극단적인 추위나 화재	지속적인 화재
홍수		100년	500년	
극한 하중				

표 3.25 극한 상태에 대한 권장 파괴확률(일본)

위험시의 피해자 수	경제적인 결과		
	중요치 않음	높음	매우높음
작음(1<)	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
중간	10^{-4}(β=3)	10^{-5}	10^{-6}(β=4.5)
큼(>10)	10^{-5}	10^{-6}	10^{-9}

나. 항만구조물의 성능설계(일본)[38]

(1) 기존 설계법과 새로운 설계법의 비교

다음 그림은 기존 설계법과 성능설계를 이용한 새로운 설계법을 비교한 것이다.

38) Honjo, Y. and O. Kusakabe (2002), Proposal of a comprehensive foundation design code: Geocode 21 ver. 2, Foundation Design Codes and Soil Investigation in view of *International*

● 기존 설계법

- 시방규정 설계법

예 : 파력에 대한 방파제의 설계

안전율법(Safety factor method)



● 새설계법

- 성능규정설계법

부분안전계수법 또는 변형을 고려한 신뢰성 설계법

(2) 성능설계 개념

항만구조물의 성능설계 개념은 1차적으로 조사를 통하여 관련자료를 조사하고(성능조사), 설계 및 기준을 통한 설계를 실시하고(성능규정, 요구성능), 구조물 목적에 부합하는 성능설계를 완성하는 것이다.

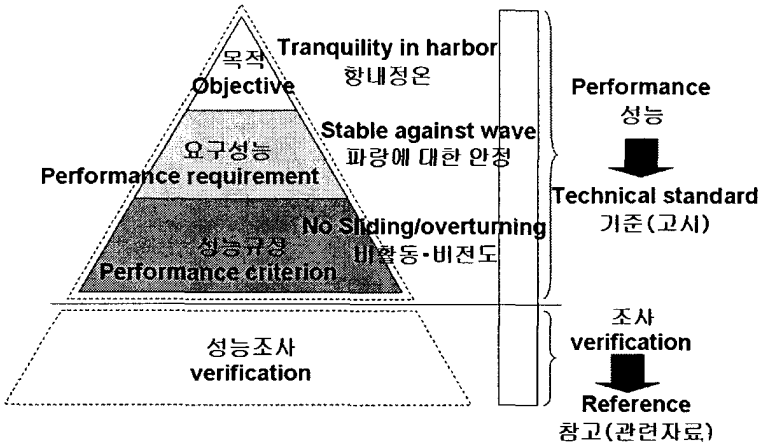


그림 3.19 성능설계 개념

또한, 구조물의 성능설계를 위한 요구조건은 다음 표와 같다.

표 3.26 구조물의 성능설계 요구조건

설계상태	주요 작용	요구성능
영속상태	자중, 토압, 수압 등	사용성
변동상태	변동파랑(50년확률파), 수준 1 등급진동(75년 재현주기), 선박에 의한작용 등	사용성
우발상태	수준 2 등급 진동, 쓰나미, 우발파랑 등	사용성 또는 회복성 또는 안정성

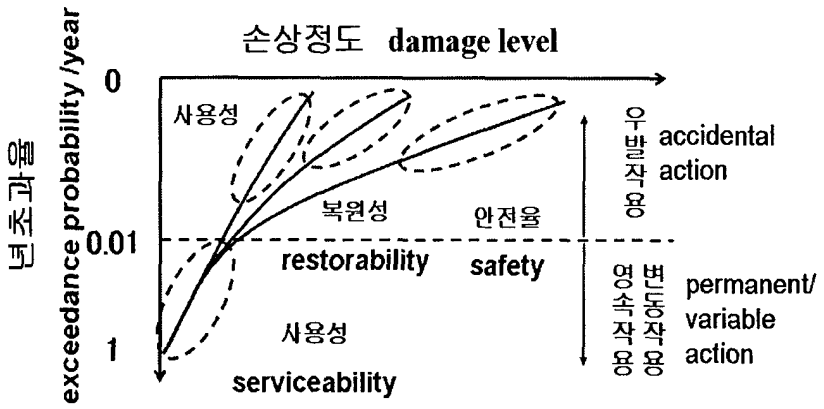


그림 3.20 구조물의 손상 초과확률

주) 일반적으로 년초과 확률 0.01정도를 기준으로 우연발생작용과 변동작용으로 분류하고 있다.

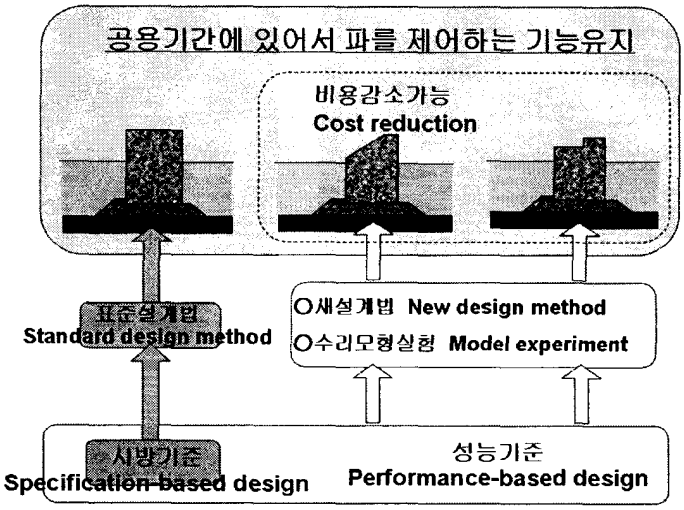


그림 3.21 방파제의 성능설계 예

그리고 표준성능 설계기준을 위한 방법을 조사하면 신뢰성 설계(부분계수법 등), 수치해석(동적시뮬레이션 등), 한계상태 설계법, 모형실험, 현장실험, 안전율/허용응력설계(형식적인 부분계수법)가 있다.

2. 구조물 기초 분야 성능기준 작성지침 일반사항

가. 구조물 기초 설계 및 시공을 위한 지반정수의 신뢰성 평가기법[39]

지반공학적 구조계산에 사용하기 위한 파라미터 값은 항상 설계자에 의해 선정된다. 그러나 어떻게 파라미터가 선정되는지, 그리고 측정된 파라미터를 얼마나 보수적으로 적용해야 하는지는 설계기준이나 규정에 거의 논의되지 않고 있다. 이는 Eurocode에서 설계치를 계산하기 위한 부분계수(Partial Factor)와 특성치의 결정이 매우 중요함을 의미할뿐 아니라 특성치 산정방법이 쉽게 정의되기 어려움을 단편적으로 나타낸다고 할 수 있다. Eurocode 7에서는 지반공학적 파라미터의 설계치를 얻기 위한 과정으로 측정치(Measured Value), 추론치(Derived Value), 특성치(Characteristic Value) 및 설계치(Design Value)의 4가지 단계의 값을 언급하고 있다. 이러한 값들의 기본적인 개념을 도시화하면 아래 그림과 같다.

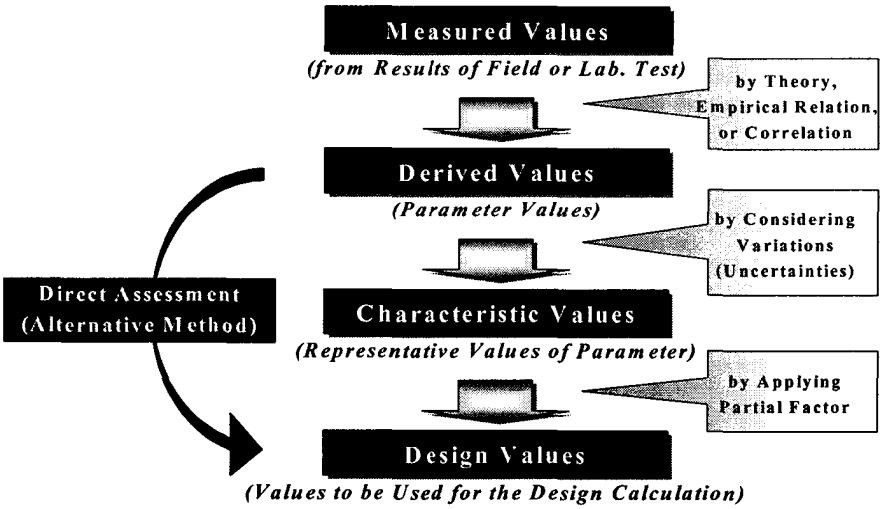


그림 3.22 설계치 결정을 위한 절차

① 측정치(Measured Value) : 측정치는 다양한 종류의 실내 및 원위치시험으로부터 측정된 값으로 정의된다. 측정치의 예로써 지하수위, 표준관입시험의 N치 및 삼축

39) 윤길림, 윤여원, 김홍연(2007), "LRFD & Eurocode 7 설계를 위한 해양토질의 특성치 연구", 한국지반공학회 봄 학술발표회 초록집

압축시험에서 측정된 응력과 변형률 등이 있다.

② 추론치(Derived Value) : 추론치는 이론 또는 경험적·통계적 상관관계에 기초하여 측정치로부터 산정된 지반재료의 특성을 나타내는 값으로 정의된다. 추론치는 특성치의 선정을 위한 기틀을 제공한다. 추론치의 예로써 Mohr-Coulomb 이론을 이용하여 삼축압축시험으로부터 얻은 c' 및 ϕ'값, torque 이론을 이용하여 현장베인시험으로부터 추론된 C_u값, 그리고 경험적 상관관계를 이용하여 SPT 타격치로부터 얻어진 ϕ', E 및 모래의 상대밀도 등이 있다.

③ 특성치(Characteristic Value) : 특성치는 설계상 구조물-기초-지반시스템에 근거한 문제에서 한계상태의 발생을 예측하기 위해 가장 타당한 값으로써 평가되는 대표치이다. 원칙적으로 특성치는 추론치의 평균에 대하여 신중하게 평가된 값이다. 여기서 평균치는 직접적인 산술평균을 의미하는 것이 아니라 평균치를 얻고자 할 때 통계학적 평가오류(Statistical Estimation Error)가 고려되어야 한다는 것이다. 또한 평균치의 이러한 신중한 평가는 지질학적·지반공학적 이론, 유사현장의 경험뿐 아니라 가능하다면 일부 다른 결과에 근거한 값의 일관성 및 교차검증을 고려한다.

④ 설계치(Design Value) : 설계치는 구조계산에 사용되는 파라미터의 값이다. 설계치는 특성치에 부분계수를 곱함으로써 결정된 값이다. 지반공학적 정수나 파라미터의 지표적인(Characteristic) 수치는 설계목적으로 이용되는 특성치에 대한 지반 파라미터의 확률밀도함수(Probability Density Function) 평균치의 비로써, 편향계수(Bias Factor) k_r값에 의해 정의할 수 있다. 아래 그림은 특성치를 도식적으로 정의하고 있다. k_r=1.0 일 때 특성치는 확률밀도함수의 평균치와 같게 된다.

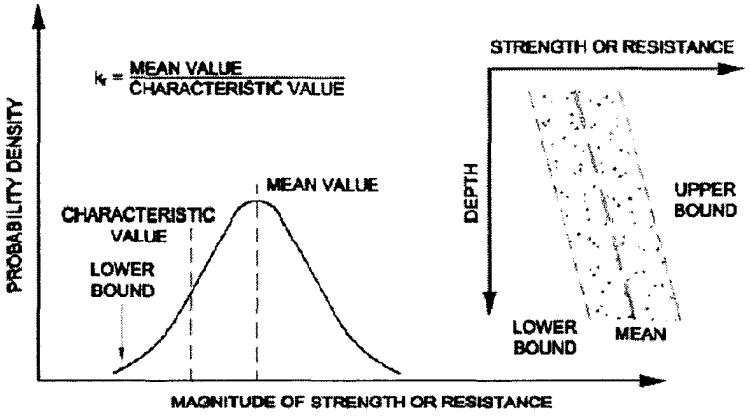


그림 3.23 특성치의 정의 (Becker, 2006)

지반 파라미터의 특성치는 일반적으로 한계상태의 발생에 영향을 끼치는 값이 주의 깊게 산정된 결과라는 의미로 정의된다. 또는 통계학적 개념을 도입하여 한계상태의 발생을 지배하는 가장 불리한 값의 확률이 5%를 넘지 않는 값으로써 정의하기도 한다. 따라서 특성치는 실제 설계가 수행될 때 특정한 한계상태와 지반의 불확실성 조건을 고려하여 선정되어야 한다. 특성치의 통계학적 정의는 현장 토질정수의 평균치와 연관되며, 시험결과에서 얻어진 추론치가 5% 신뢰수준이 아닌, 한계상태의 발생에 영향을 미치는 값이다. 다시 말해, 특성치는 채택된 특성치보다 현재의 평균치 $\mu(X)$가 크게 되는 95% 신뢰수준 해당된다. 현재의 평균치 $\mu(X)$가 이 값보다 크게 되는 95% 신뢰수준에 해당하는 토질상수의 특성치 X_k는 통계이론을 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_k = \mu(X)[1 - k_n \cdot V(X)] \tag{1}$$

여기서, k_n은 통계적 확률분포와 시험결과의 수량에 의존하는 계수(Factor)이고, $V(X)$는 변동계수(표준편차/평균치)이다. EN 1990에서는 특성치를 가설적인(Hypothetical) 무제한의 시험에서 얻어지지 않는 규정된 확률을 가지는 재료나 제품성질의 값으로서, 이 값은 일반적으로 특정한 성질로 가정된 통계학적 분포에서 어떤 지정된 신뢰수준에 해당한다고 정의하면서, 5% 신뢰수준 개념으로 정의해야 한다고 언급하고 있다. 이러한 조건을 정규분포로 가정하여 특성치를 다음과 같이 나타내고 있다.

$$X_k = \mu(X) - 1.645\sigma(X) = \mu(X)[1 - 1.645\,V(X)] \tag{2}$$

여기서, $\mu(X)$는 평균치, $\sigma(X)$는 표준편차이고, $V(X)$는 제한되지 않은 시험의 변동계수이다. X와 계수 1.645는 5%의 신뢰수준을 나타낸다. 상기 언급한 EN 1990의 특성치 정의와 식은 구조재료와 관련되는 설계에 대하여 적합한 반면, 지반공학적 설계에는 적절치 못하다. 그러한 주된 이유는 지반공학적 파라미터를 좌우하는 변수의 특성 때문이다. 예를 들어, 지반 내에서 파괴는 어느 한 개별적 시험요소의 강도가 아니라 파괴면에 대한 평균강도이다. 따라서 그것은 시험결과의 5% 신뢰수준

이 아닌 평균강도의 95% 신뢰값에 해당하는 요구된 파괴면을 따라 일어나는 평균강도의 5% 신뢰수준이다. 또다른 이유는 일반적으로 지반공학적 설계에서는 단지 제한된 수량의 시험결과만이 가용하므로 통계적으로 주의가 요구된다는 것이다.

Student(1908)는 평균치의 95% 신뢰에 대하여 다음과 같이 제안하였다.

$$X_k = \mu(X) - \frac{t}{\sqrt{N}}\sigma(X) \tag{3}$$

여기서, t는 시험결과의 수량 N에 의해 좌우되는 파라미터이다. Ovesen(1995)은 수많은 전단강도 결과의 특성치를 얻기 위하여 다음과 같이 보다 단순화된 식을 사용하였다. 식 (4)는 식 (3)에서 시험결과 수량 N이 무수히 많은 경우의 파라미터 t를 적용한 결과이다.

$$X_k = \mu(X) - \frac{1.645}{\sqrt{N}}\sigma(X) \tag{4}$$

한편, Schneider(1997)는 식 (4)를 보다 더 단순화하여 식 (5)와 같이 나타내었다.

$$X_k = \mu(X) - 0.5\sigma(X) \tag{5}$$

Schneider는 비교연구에 의하여 k_n=0.5 즉, 식 (4)에서 시험결과의 수량 N이 11일 때 X_k에 대한 양호한 근사치가 산정됨을 보였다. 식 (5)는 특성치가 평균치에서 표준편차의 50%만큼 작게 채택되는 경우를 의미한다.

상기 제안된 방법들은 보다 합리적인 특성치의 산정을 위하여 여러 연구자에 의해 제안되었으나 방법에 따라 설계의 결과가 다소 경제적이기도, 다른 한편으로는 보수적이기도 하여 특정 방법의 적용성을 논리적으로 합당화 하기에는 어려움이 있는 것이 현실이다.

물리적 특성과 관련된 토질정수의 특성치 산정결과 본 연구에서 검토한 4가지 방법 중 Student에 의한 방법이 평균치에 근접하여 가장 경제적인 것으로 나타났다. 그러나 본 연구와 같이 시험자료의 수가 많은 경우에는 Student 방법과 Ovesen 방

법에 차이가 없이 거의 같은 값을 나타냄을 알 수 있었다. 이는 t값이 시험자료의 수에 따라 영향을 받기는 하나, 일정한 자료수를 초과하게 되면 95% 신뢰수준에서 1.645에 수렴하게 되어 결국 시험자료의 수가 많을 경우 Ovesen(1995)과 Student(1905)의 제안식이 같아지는 데에서 기인한다고 할 수 있을 것이다. 반면, EN 1990에 의한 방법은 모집단의 분산도에 따라 다르나 대체로 평균치와 비교하여 매우 작은 값을 나타낸다. 강도특성 파라미터 역시 Student 및 Ovesen에 의한 방법이 가장 평균치와 근사하여 경제적이며, 부산지역의 강도증가율은 그 변동계수가 매우 작아 평균치에 거의 근접하는 것으로 나타났다. 다음으로 Schneider 및 EN 1990에 의한 방법 순으로 평균치를 기준으로 매우 보수적인 값이 산정되었으며, 특히 EN 1990에 의한 방법은 변동계수가 큰 시험의 경우 0보다 작은 값이 산정되었다. 압밀특성에 관련된 파라미터는 대체로 부산지역에 비해 광양지역의 변동성이 다소 큰 경향이 있다.

산정된 각 특성치는 물리적 및 강도특성과 마찬가지로 Student에 의한 방법이 가장 평균치와 근접하여 경제적인 것으로 나타났으며, Schneider와 EN 1990 순으로 보수적인 값을 나타내었다.

나. 국내 기초공법의 신뢰성 설계방법 추세[40]

(1) 서론

최근 국내에서는 기성말뚝의 항타시공시 발생하는 진동과 소음을 방지하기 위해 현장타설말뚝의 사용이 증가하고 있다. 현장타설말뚝은 일반적으로 대형 구조물의 큰 중량을 지지하기 위해 선단부를 암반에 근입시켜 시공되므로 말뚝 한 본당 지지하는 하중이 매우 크다. 따라서 말뚝의 소요지지력이 확보되지 않을 경우 말뚝의 파괴나 지반의 과다침하가 발생할 수 있다. 이러한 피해를 방지하고 현장타설말뚝의 거동을 정확히 분석하기 위해서는 신뢰할 수 있는 지지력의 산정이 매우 중요하다. 현재 국내의 각종 설계기준에서는 현장타설말뚝의 지지력을 산정하기 위한 여러 공식을 제안하고 있으나, 각 공식의 적용결과가 서로 상이하고 일관성이 없어 이에 대한 신뢰성 분석이 필요한 실정이다.

---

40) 윤홍준, 정성준, 김명모(2007), "현장타설말뚝의 저항계수 산정에 관한 연구", 한국지반공학회 봄 학술발표회 초록집

그러므로 국내의 여러 설계기준에 제시된 암반근입 현장타설말뚝에 대한 지지력 공식의 신뢰성을 확인할 수 있다. 우선, 4개 현장에서 수행된 총 17본의 현장타설말뚝에 대한 정재하시험 자료를 수집한 후, 이로부터 얻어진 하중-침하 곡선에 Davisson 방법 (1972), 25.4mm 방법 (1942), 0.1D 방법 (1942), FHWA 5% 방법 (1999), 그리고 ASCE 방법 (1997) 등 총 5가지의 극한하중 판정법을 적용하여 가장 신뢰성 있는 극한지지력 값을 결정하였다. 또한 국내의 대표적 설계기준인 철도 설계기준(2004), 도로교 설계기준(2001), 그리고 구조물 기초설계기준 (2003)에 제시된 지지력공식을 사용하여 각 말뚝에 대한 예측지지력 값을 계산하였다. 마지막으로 각 말뚝의 지지력 결과를 서로 비교하여 편향계수를 산정하고, 이에 대한 평균, 표준편차, 변동계수를 이용해 통계분석을 수행하고 있다.

또한, 구조물기초 및 지반공학 분야에서 신뢰성 분석을 기반으로 한 하중저항계수설계법(Load and Resistance Factor Design: LRFD)이 세계적인 추세가 되어가고 있다. 하중저항계수설계법은 설계모델에 의해 산정된 저항에 불확실성을 반영하기 위해서 하나의 저항계수를 곱해주는 것이 특징이다. 하중저항계수설계법의 개발과 도입을 위해서 지역적 특성에 따른 가변성과 다양한 환경요인으로부터 발생되는 불확실성으로 인해 국내 지반특성과 기초구조물 실무 현황을 대변할 수 있는 적합한 저항계수의 산정이 필요하다. 변동성이 크고 복잡한 양상을 보이는 지반 저항계수의 결정에는 지반 특성 및 기초구조물 거동을 대변할 수 있는 많은 자료수집과 주요 설계변수에 대한 자료 축적이 선행되어야 하며 불확실성을 정량화하기 위한 정확한 신뢰성 해석기법의 적용이 필요하다. 이러한 신뢰성 해석기법은 넓은 범위에서의 성능설계법의 하나이다.

그러므로 국내 기초구조물에 대한 저항계수 산정 및 하중저항계수설계법 개발의 일환으로 토목구조물의 기초로 범용화되어 있는 항타강관말뚝에 대한 신뢰성수준을 평가, 분석하였다. 신뢰성 평가를 위하여 국내외 여러 문헌을 통해 가장 정확하고 개선된 방법으로 인정받고 있는 몬테카를로 시뮬레이션을 적용하기도 한다.

(2) 기초공법 적용시의 자료문제

4개 현장에서 수행된 총 17본의 현장타설말뚝에 대한 정재하시험 자료를 수집하였으며, 이에 대한 암반물성값을 아래 표에 정리하여 그 예를 나타내었다.

표 3.27 각 현장의 암반물성값(예)

현장	말뚝 번호	풍화등급※	q_u (MPa)		Em (MPa)		Eur (MPa)		RQD (%)		RMR	
			선단	주면	선단	주면	선단	주면	선단	주면	선단	주면
WR-1 (D=0.4m)	1	MW	56.7		548.4	-	2810	-	23	0	25	
	2	MW	84.7		-	887.2	-	2280	37		33	
	3	MW	55.5		-	169.5	-	650	45	55	38	
	4	MW	55.5		-	169.5	-	650				
	5	MW	57		-	-	-	860	31	49	33	
WR-2 (D=1.5m)	6	MW	78.7		150.7		336		20		25	
WR-3 (D=1.0m)	7	HW	47.8		203.5	195.5	905		0		22	
	8	HW										
	9	HW			-	170.2	-	973.5				
	10	MW			834.5	583.5	2752	1931.6	42	40	42	
	11	MW			931.5		2748		50	52	45	
WR-4 (D=0.4m)	12	HW	12.3	20.2	-	-	-	-	0		7	
	13	CW	36.1	15.6	111	61.9	619	162.1				
	14	CW	17.3	15.7	57.8	56.7	191	162.5				
	15	CW	15.7				163					
	16	HW	30.4	12.0	-	-	-	-				
	17	HW	11.7	12.2	-	-	-	-				

※ MW = Moderately Weathered, HW=Highly Weathered, CW=Completely Weathered

(3) 깊은기초 극한지지력

(가) 측정 극한지지력 계산

국내 전역에서 실시된 2000여개 이상의 항타강관말뚝 재하시험 자료를 수집, 검토하여 극한지지력을 확인한 사례가 있다. 이 방법은 자료에 대한 통계 분석 및 신뢰성 평가를 위해서 수집된 많은 재하시험 자료 중 다음과 같은 기준으로 분석 대상 자료를 선정하였다.

① 정재하시험의 하중-침하 곡선에서 극한지지력 확인 가능한 자료

② 지반조사 결과 및 실내실험 자료가 함께 확보된 자료

③ 동일하지 않은 지층에서 수행된 시험자료

많은 수의 자료 중 위의 기준으로 선정되어 신뢰성 분석에 적용된 항타강관말뚝 정재하시험 자료 수는 총 58개 이며 이는 깊은기초의 저항계수 결정에 관한 미국 NCHRP 연구(Paikowsky 등, 2004)에 적용된 자료 수와 비슷한 수준이다. 선정된

재하시험 자료에 대한 분류 결과 말뚝의 직경은 406㎜~812㎜에 걸쳐 분포하고 있으며, 말뚝 길이는 10m 미만 20개, 10m~30m 18개, 30m 이상 20개로서 고르게 분포하고 있다. 또한 재하시험 수행 지역은 제주 지역을 제외한 전국 각지에 걸쳐 분포하고 있다. 즉, 선정된 자료의 말뚝 제원 및 지역 분포는 매우 양호한 것을 알 수 있다. 또한 선단 및 주면 지층 분석 결과 단일 지층 보다는 여러 가지 상이한 지층이 섞여 있는 혼합토 지층을 보였는데 이는 국내의 지반 특성이 그대로 반영된 것으로 판단된다.

58개 말뚝의 정재하시험 결과에 대한 극한지지력은 구조물기초 설계기준(건설교통부, 2003)과 Paikowsky 등(2004)이 제안한 6가지 기준(Davisson 기준, Shape of Curve, DeBeer, Δ=25.4㎜, Δ=0.1B, ASCE 20-96 기준(ASCE, 1997))에 의해 산정하였다. 6가지 기준에 의해 산정된 극한지지력 중 대표 측정 극한지지력을 결정하기 위해서 산정된 지지력의 평균값과 각 기준에 의한 결과를 통계 분석하였다(표 3.28). 여기서, K_{sx}는 각 기준에 의한 값에 대한 평균값의 비(평균/각 기준에 의한 지지력)이다. DeBeer 기준, Δ=25.4㎜, Δ=0.1B은 적용가능 대상 자료의 수가 적었고 ASCE 20-96 기준은 K_{sx}의 평균값이 1.0보다 작으므로 타 방법과 비교하여 지지력을 과대평가하는 경향을 보임으로써 부적합한 것으로 판단하였다. Shape of Curve 기준은 주관적 판단여부가 지지력 결정에 큰 영향을 미치므로 설계에 부적합한 것으로 판단하였다. Davisson 기준은 반복 가능한 과정을 통해 객관적 수치를 얻을 수 있는 방법이고 K_{sx}의 분산성이 낮았으며 많은 자료에 적용 가능하였다. 그러므로 말뚝의 대표 측정 극한지지력을 Davisson 기준에 의한 결과를 적용하는 것도 필요하다.

표 3.28 재하시험에 대한 극한지지력 산정

기준		유효 자료수	K_{sx} 평균	K_{sx} 표준편차	비고
Davisson 기준		54	1.00	0.11	평균 근접
shape of curve 기준		55	1.01	0.13	평균 근접
DeBeer 기준		39	1.10	0.17	-
전침하량 기준	Δ=25.4㎜기준	41	1.08	0.22	-
	Δ=0.1B 기준	22	0.87	0.10	과대 평가
ASCE 20-96 기준		50	0.96	0.09	과대 평가

(나) 설계 극한지지력 계산

지지력 공식에 의한 말뚝의 설계 극한지지력을 산정하기 위해서 구조물기초 설계기준(건설교통부, 2003)에서 제안하고 있는 정역학적 지지력공식 및 N치를 이용한 Meyerhof 경험식을 적용하였다. 말뚝 제원과 지반조건 등을 재하시험 자료와 동일하게 대입하였고 점성토 지반의 주면마찰력은 α계수법을 적용하였다. Meyerhof 경험식에서는 국내실무에서 표준관입시험 N치로부터 말뚝의 지지력을 추정하는 경우 N치의 보정이 행해지지 않고 있으며 실험 장비, 에너지효율 측정 및 해석법에 따라 그 편차가 큰 것으로 알려져 있으므로 보정하지 않은 표준관입시험 N치 결과를 적용하였다.

신뢰성 평가를 위해서 선단부 평균 N치를 기준으로 자료를 두 가지로($N<50$, $N \geq 50$) 분류하였다. 지반 특성 및 말뚝 종류, 지지 거동이 상이한 자료에 대해서는 각기 개별적인 신뢰성 평가 및 저항계수를 산정하는 것이 적합하다. 그러므로 객관적이고 지반 물성치 및 말뚝지지력과 밀접한 연관성이 있는 표준관입시험 N치로써 자료를 분류해야 한다.

58개 재하시험 자료에 대해서 Davisson 기준으로 산정한 측정 극한지지력과 설계 극한지지력을 비교한 결과도 있어야 한다. 정역학적 지지력 공식과 N치를 이용한 경험식 모두 공칭 극한지지력과 뚜렷한 경향성은 나타내지 않았다.

(4) 결론

국내 항타강관말뚝에 대한 2000여건 이상의 정재하시험 및 지반조사 자료 수집과 분석을 통해 극한지지력 확인이 가능한 58개의 정재하시험 및 지반조사 자료를 확보하였으며, 이들 자료에 대해서 국내외의 6가지 극한지지력 산정법을 적용하여 극한 지지력을 산정하였다. 자료의 통계분석 결과에 기초하면 Davisson 기준이 말뚝의 측정 극한지지력을 가장 합리적으로 평가하는 것으로 나타났다. 국내 설계에 적용되는 정역학적 지지력공식과 Meyerhof 경험식을 적용하여 설계 극한지지력을 산정하였고 재하시험 결과와 비교·분석하여 저항편향계수를 산정하였다. 지반 특성 및 말뚝 지지거동을 고려한 신뢰성 분석을 실시하기 위해서 선단부 N치 50을 기준으로 자료를 두 그룹으로 분류하였다: $N<50$, $N \geq 50$. 저항편향계수의 통계특성치 분석 결과 정역학적 지지력공식은 자료의 변동성이 낮았고, Meyerhof 경험식은 내재적 보수성이 크게 나타났다.

국내의 각종 설계기준에 제시된 암반근입 현장타설말뚝에 대한 지지력공식의 신뢰성을 확인하고자 통계분석을 수행하면 재하시험 결과로 얻어진 하중-침하곡선으로부터 극한지지력을 결정하기 위해 Davisson 방법 (1972), 25.4mm 방법 (1942), 0.1D 방법 (1942), FHWA 5% 방법 (1999), 그리고 ASCE 방법 (1997)을 적용하여 각 결과값에 대한 통계분석을 수행한 결과, FHWA 5% 방법 (1999)이 평균값에 가장 근접한 결과를 주고, Davisson 방법 (1972)이 보수적으로 평균에 근접하면서 표준편차가 가장 작은 것으로 나타났다. 국내의 대표적 설계기준인 철도 설계기준 (2004), 도로교 설계기준 (2001), 그리고 구조물 기초설계기준 (2003)에 제시된 지지력 공식의 신뢰성을 확인하기 위해 각 공식으로 계산된 지지력과 재하시험 결과를 비교하여 통계분석을 수행하면 구조물기초 설계기준 (2003)에 제시된 Meyerhof (1976) 공식이 보수적인 예측값을 주면서 편향계수가 1에 근접하고 표준편차가 작아 신뢰성이 가장 높은 것으로 나타났다.

그러므로, 구조물에서 기초공법의 적용시 현장조사결과를 토대로 통계분석을 하는 지침이 필요하다. 이를 통한 신뢰성 해석기법으로 설계에 적용하면 성능설계 기준수립에 이바지할 것이다.

다. 최적설계를 위한 지식기반형 정보시스템의 성능설계 적용[41]

(1) 서론

산업화와 더불어 산업용지의 수요가 점차 증가되고 있으나 국토의 제한성으로 인하여 지반조건이 양호한 사업지구의 확보가 어려워지고 있다. 특히 정부의 동북아 비즈니스 중심 국가 건설계획과 항만산업을 통한 국가경제 지속성장 전략에 따라 지반조건이 양호한 지역뿐만 아니라 연약지반 분포 지역까지 건설공사가 계획되어 있어 이러한 지역에서는 연약지반의 개량이 불가피하다. 산업단지 및 기반시설의 조성을 위한 연약지반 개량공사는 공사부지의 방대함과 더불어 연약지반의 공학적 성질이 복잡하고 다양하기 때문에 해당 연약지반의 다양한 공학적 성질을 정확히 파악하고, 이를 토대로 현장 시공성을 고려한 안정적이고 경제적인 성능 설계를

41) 유충식, 김선빈(2007), "정보기술(IT)의 연약지반 설계 적용사례", 한국지반공학회 가을 학술발표회 초록집

위한 방안의 하나로 정립할 수 있다. 다양한 현장 여건 및 지반조건에 대한 방대한 분량의 정보를 반영하여 침하에 대한 위험도 평가를 수행하고, 그 결과를 설계에 반영하는 정보화 개념의 최적 성능설계 방안이 요구된다.

(2) 최적 성능설계를 위한 GIS-ANN기반의 정보화시스템 적용

(가) 개요

GIS-ANN 기반의 연약지반 설계 정보화 시스템은 GIS 소프트웨어를 기반으로 하고, 특성 예측이 가능한 ANN 엔진을 연계시켜, VBA 모듈을 통해 시스템 상에서 설계 아이템에 대한 조회 및 연산, 가시화가 가능하도록 구성된 정보화 시스템이다. 특히, GIS 기능을 활용하여 지반특성, 설계정보 및 압밀침하특성 등의 지오데이터베이스(Geodatabase, GDB)를 구축하고, ANN의 접목을 통해 제한된 대표영역의 정보를 토대로 전 영역의 압밀침하 특성 및 분석이 가능하도록 시도하였다. 또한 GIS 지도상에서 VBA 모듈 및 ArcGIS Extensions인 Spatial Analyst를 통해 영역별 압밀침하특성 및 매설관로 손상평가, 위험영역의 조회 및 연산결과의 가시화가 가능하도록 구축하였다.

따라서 본 시스템은 사용자가 개인 컴퓨터를 통해 데이터에 접근하고 공학적 연산을 수행하는 데스크탑 모형으로 구축된 사용자 기반의 정보화 시스템으로, 대상 현장의 부지특성과 정보화 기술이 접목된 최적화 된 연약지반 성능 설계 기초자료를 제공할 수 있다.

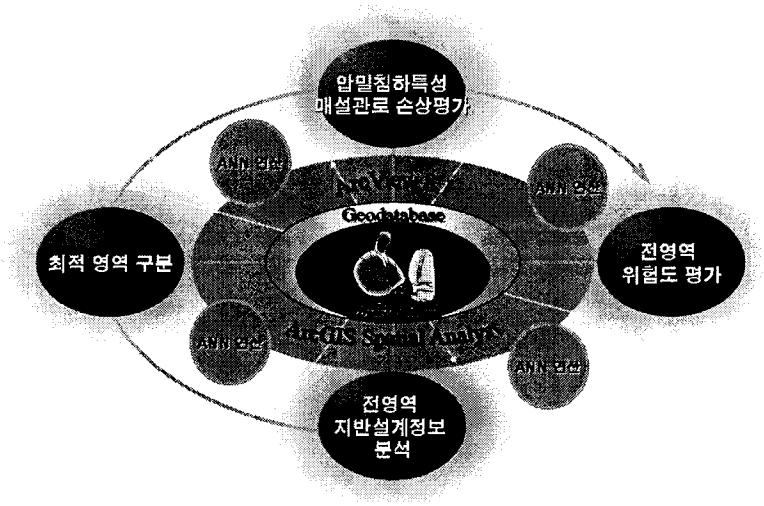


그림 3.24 GIS-ANN 기반의 연약지반 설계 정보화 시스템 개념도

(나) 모듈구성

①설계정보 데이터베이스 기능

연약지반 설계관리를 위해 관리자가 각 현장에 대한 지반/설계 정보를 입력·조회하는 모듈로써 GIS 소프트웨어를 사용하여 구축한다. 데이터 입력에 앞서 현장의 수치지도나 캐드파일을 데이터(속성값) 입력이 가능하도록 GIS 소프트웨어를 이용하여 지오데이터베이스를 생성하였다. 특히, 광범위한 대상지반의 지반 정보 및 지반개량 설계정보의 조회가 가능하도록 대상영역 전 구간에 걸쳐 그리드 포인트를 생성하고 생성된 대상영역의 그리드 포인트, 시추공 등의 지오데이터베이스에 필요한 정보를 입력하여 사용자가 데이터베이스에 접근, 원하는 정보를 조회할 수 있게 하였다.

아래 그림은 데이터베이스를 구성하는 주 항목과 이를 구성하는 세부항목의 관계를 보여주며 연약지반/설계정보 조회 모듈을 나타내고 있다.

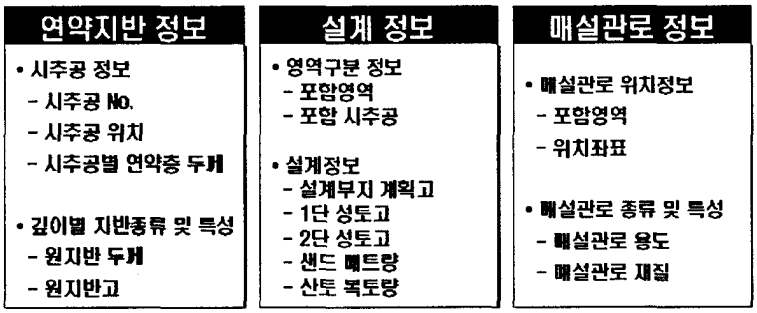


그림 3.25 데이터베이스 항목

② 평가 모듈

본 모듈은 구축한 데이터베이스와 본 현장에 대한 설계사의 압밀 침하 해석결과로 학습된 ANN 엔진을 이용하여 최적성토고 및 압밀침하량, 단계성토시 압밀침하량 등 연약지반 설계와 시공시 중점 평가가 필요한 항목에 대한 평가기능을 갖추도록 하였다. 즉, 다양한 조건에 대한 해석결과로 학습된 ANN 엔진을 이용하여 현장 전반에 대한 평가가 가능하며, 이를 GIS 상에서 가시화함으로써 평가결과의 이해 및 사용성을 제고할 수 있도록 하였다. 한편, 최적성토고 및 최종압밀 침하량, 잔류침하량 등 각 평가항목을 수치지도상에 ArcGIS Spatial Analyst를 이용한 등고선으로 가시화함으로써 전반적인 추세를 정량·정성적으로 평가하고 취약구간을 쉽게 인식할 수 있다

는 장점이 있다. 이러한 일련의 과정은 VB 및 VBA를 이용하여 인터페이스 코딩을 함으로써 구체화 되었다. 다음 표는 압밀 침하평가 모듈의 평가 정보 및 연산 방법을 나타내고 있다.

표 3.29 압밀 침하평가 모듈의 평가 정보(예)

평가 정보	연산 방법
최적성토고 (m)	ANN 엔진을 통한 예측
성토량 (m)	최적성토고-(지반고+샌드매트+산토복토)
성토제거량 (m)	최적성토고-침하량-부지계획고
최종 침하량 (m)	ANN 엔진을 통한 예측
잔류 침하량 (m)	목표침하량-최종 침하량
위험 등급 (등급)	침하량에 따른 위험등급 분류

③ 매설관로 손상평가 모듈(적용 예)

연약지반의 장기 압밀침하거동으로 인해 주변 매설관로에 침하 및 변형이 발생할 경우 사용성 측면에서 부지 활용에 있어서 큰 차질을 초래할 수 있다. 따라서 연약지반 개량 공사 시 과업영역에 위치한 매설관로에 대한 평가는 연약지반 개량 최적의 설계/시공을 위해서 필수적인 요소이다. 이에 따라 현장에 위치한 매설관로를 대상으로 장기압밀침하특성을 토대로 손상평가 기준을 수립하고, GIS 시스템 상에서 평가가 이루어지도록 구축하였다. 특히, 매설관로의 평가결과는 손상등급에 따라 수치지도 상에 특정 색깔로서 표현이 되도록 하여 평가결과의 시각적 분별 기능을 극대화 하였고, 손상평가 결과의 조회가 가능하도록 하였다.

(3) GIS-ANN 기반의 압밀침하평가

아래 그림은 본 시스템에서 채택한 GIS-ANN 연계 압밀침하평가 개념도를 보여주고 있다. 여기서는 최적성토고 및 침하량, 단계성토시 압밀 침하량 등 연약지반개량 설계 시 검토해야 될 여러 가지 상황을 대표단면에 대한 DB를 이용하여 전 구간에 걸쳐 이미 학습된 ANN 엔진을 통해 예측을 하고 그 결과를 GIS를 이용하여 가시화하는데 목적이 있다. 학습 및 예측을 위한 ANN 엔진을 구축하였으며 그 결과를 지오데이터베이스화 하여 VBA 및 VB를 통해 구현한 압밀침하평가 모듈을 접목하였다.

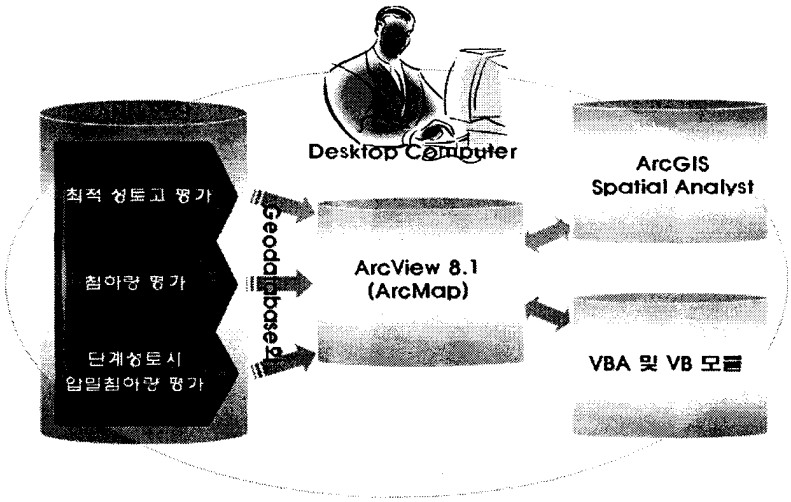


그림 3.26 GIS-ANN 연계 연약지반 설계평가 개념도

설계시 GIS, ANN 등의 정보기술(IT)을 접목한 사례를 제시하였다. 이를 위해 토목분야에서 활발히 적용되고 있는 대표적인 정보기술인 지리정보시스템(GIS)와 인공지능의 일종인 인공신경망을 연계하여 GIS-ANN 기반의 연약지반 설계를 위한 정보화 시스템을 구축하였으며, 아울러 현장의 다양한 설계 정보를 이용하여 최적의 ANN 엔진을 구축하였다. 구축된 ANN 엔진을 개발된 시스템에 적용함으로써 최적 설계를 도출할 수 있었다. 이와 같은 정보화 기술이 접목된 설계를 통해 구조물 기초분야에 서 성능설계를 위한 IT의 접목 가능성과 효용성을 가질 수 있다.

라. 시설물별 성능설계 개발방법

(1) 설계기준의 수립

일반적으로 기초설계를 위한 설계규준은 극한한계나 사용한계설계에 대한 과거의 경험이나 현장데이타에 의존하게 된다. 본 절에서는 이들 기준을 간략히 기술하고자 한다. 여러 가지 종류의 파괴에 대한 전체안전율의 대표적인 값은 아래 표와 같으며 여러 나라에서 사용되고 있는 대표적인 부분계수값은 그 아래 표에 기술하였다. 물론 상기에 제시된 하중계수의 사용은 기존에 사용되어오던 설계기준과는 다른 결과를 도출할 수 있으므로 주위해서 사용되어야 한다. 표에서 알 수 있듯이 하중계수값은 각 나라마다 기관마다 약간의 차이가 있는 것을 알 수 있으나 그 편차는 크지 않는 것으로 나타나고 있다.

표 3.30 대표적 안전율(Meyerhof, 1995)

파괴형태	검토항목	안전율
전단	토공	1.3-1.5
	옹벽구조물, 굴착, 해안기초,	1.5-2
	육상기초	2-3
침투	양압력, 융기	1.5-2
	유출경사, 파이핑	2-3
극한말뚝 하중	하중시험	1.5-2
	동재하시험	3

표 3.31 강도정수에 대한 대표적인 부분계수((Meyerhof, 1995)

항목	Brinch Hansen 1953	Brinch Hansen 1956	Denmark DS 165 1965	Euro-code 7 1993	Canada CFEM 1992	Canada NBCC 1995	USA ANSI 1980
마찰각(ϕ)	1.25	1.2	1.25	1.25	1.25	주석 1 참조	주석2 참조
점착력 c, (사면 토압)	1.5	1.5	1.5	1.4-1.6	1.5		
점착력 c (확대기초)	-	1.7	1.75	1.4-1.6	2.0		
점착력 c (말뚝)	-	2.0	2.0	1.4-1.6	2.0		

* 주석 1 : 공칭강도에 1.25-2.0의 저항계수 적용

* 주석 2 : 공칭강도에 1.2-1.5의 저항계수 적용

사용성 한계에 대한 설계 기준을 만족하기 위해서는 변형이 허용변형보다 작아야 되며 부등변형이 허용 부등변형보다 작아야 한다. 국내의 시설물별 성능설계 개발을 위한 기본 개념은 신뢰성 설계(부분계수법 등), 수치해석(동적시뮬레이션 등), 한계상태 설계법, 모형실험, 현장실험 자료, 안전율/허용응력설계(형식적인 부분계수법)이 있다. 구조물에 대한 요구성능은 세부적으로 다를 수가 있으나 종합적인 면에서는 통일성이 있는 기준이 수립되어야 하며 구조물 기초분야에서는 우선적으로 콘크리트, 강구조, 건축 구조물의 하부 기초인 얕은기초, 깊은 기초에 대한 기준이 수립되어야 하며 옹벽, 가시설, 연약지반, 사면에 대한 기준도 연구되어야 한다. 이러한 구조물의 통일된 기준을 위한 기준을 표로 나타내면 다음과 같다.

표 3.32 설계 상태에 따른 요구성능 개념

설계상태	주요 작용하중 및 상태	요구성능
영속상태	자중、토압、수압 등	사용성
변동상태*)	변동 토압(50년확률), 지진 및 외력에 의한 진동, 균열 및 변위의 진행 등	사용성
우발상태	파괴직전 상태 등	사용성, 회복성, 안정성

*) 깊은기초, 얕은 기초, 옹벽, 연약지반, 사면 등

(2) 설계 요구 조건

구조물 기초분야에 있어서 성능설계를 위한 설계 요구조건은 다음과 같다.

① 각각의 지반구조물 설계시 관련된 어떠한 한계상태도 초과 되지 않는다는 것을 입증해야 한다.

② 한계상태는 다음을 이용하여 입증해야 한다.

- 계산식
- 규정된 방법의 선택
- 실내실험 및 현장시험
- 육안 관찰 및 계측

③ 구조물별 설계조건 및 절차

구조물별 등급에 따른 설계조건 및 설계절차는 다음 표와 같다.

표 3.33 설계조건 및 절차(Eurocode)

구조물 등급	포함 범위	설계 조건	설계 절차
1	위험요소가 미미한 작고 상대적으로 단순한 구조	• 불안정성이나 지반의 움직임에 대한 위험을 무시할 수 있는 상태 • 지반조건이 알려짐 • 지하수위 아래 굴착안함	일상적인 설계 & 시공법
2	예외적인 위험이 없는 일반적인 형식의 구조 및 기초형식	기본적인 요구조건을 만족하기 위한 양적지반 데이터 및 해석	일상적인 현장 및 실내시험 일상적인 설계 및 시공
3	위에서 포함되지 않는 구조물이나 구조의 일부	Eurocode 7에 나와 있는 대안 조항이나 규칙을 이용	

구조물 별 등급에 따른 설계내용의 범위(예)는 다음 표와 같다.

표 3.34 설계 범위(Eurocode)

구조물 등급	범 위	적용 예
1	위험요소가 미미한 작고 상대적 단순 구조	Eurocode 7에 미포함
2	예외적인 위험이 없는 일반적인 형식의 구조 및 기초형식	얕은기초, 말뚝기초; 벽체구조, 옹벽 또는 지지, 굴착, 교량 피어 및 교대; 제방, 토공, 지반앵커와 기타 타이 백시스템, 파쇄되지 않은 암반과 특별한 수압이나 기타 압력이 작용하지 않는 경암에서 터널
3	위에서 포함되지 않는 구조물이나 구조의 일부	매우 크거나 또는 특이한 구조; 비정상적인 위험요소가 있는 구조 또는 특이하거나 예외적인 복잡한 지반이나 하중조건; 빈번한 진동지역의 구조물; 현장의 불안전성이 있는 지역 또는 특별한 조사와 조치가 필요한 지속적인 지반움직임이 있는 지역

구조물 기초의 상태 별 안정에 대한 상태를 나타내면 다음 그림과 같다.

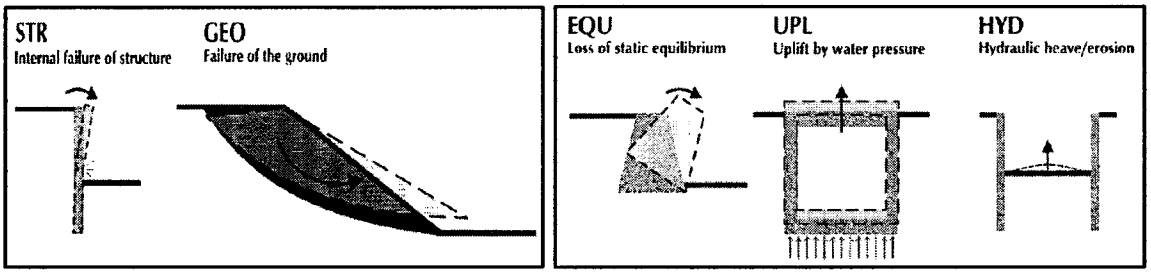


그림 3.27 강도 및 안정에 대한 극한상태

성능설계를 위한 구조물의 한계상태는 지반의 파괴 또는 과도한 변형이 이르는 상태이다. 이때 흙이나 암석의 강도가 저항에 중요한 요소로 작용한다. 기초나 옹벽 구조물에서 구조요소를 크기에 따라 분류하는 것이 중요하다. 구조물에서 구조 또는 구조요소의 내적 파괴나 과도한 변형, 이때 구조재료의 강도는 저항에 중요한 요소로 작용하므로 예를 들어 기초, 말뚝 그리고 지하벽체를 포함한다.

표 3.35 설계 방법

구조물	설계시 고려 사항			
	1		2	3
	조합 1	조합 2		
축하중받는 깊은 기초	하중	저항	하중, 저항	하중, 재료특성, 저항
다른 구조물		재료특성		
사면			하중과 저항의 영향	하중, 재료특성, 저항의 영향

(3) 구조물 성능설계 순서

① 개요

② 한계상태

③ 하중, geometrical 와 geotechnical data 및 설계상황

④ 설계 및 시공시 조건 및 고려사항

⑤ 토압의 결정

⑥ 수압의 결정

⑦ 극한 한계 상태 분석 및 기준

⑧ 사용성 한계 상태분석 및 기준(성능설계 개념 적용)

(4) 구조물의 중요도와 성능설계 기준 고려사항

구조물을 설계하는 데 있어 구조물의 중요도 수준을 결정하기 위해 사업자나 발주자가 고려해야 할 점은 구조물의 손상에 의한 인명피해 및 수명손실, 재건설 사업뿐 아니라 긴급구조 작업 중 구조물의 역할과 구조물 자산가치의 보장을 포함한다. 필요시 사업자나 발주자는 구조물의 중요도에 따라 적절한 하중조합과 한계상태를 채택함으로써 성능기준을 정의할 수 있다. 구조물은 적절한 신뢰수준을 가지고 지속적인 환경에 대하여 사용한계상태를 만족하도록 설계된다.

구조물은 적절한 신뢰수준을 가지고 사용성, 보수성 및(또는) 극한환경에 대한 극한한계상태를 유지하도록 설계된다. 구조물은 그 중요도에 따라 적절한 신뢰수준을 가지고 사용성, 보수성 및(또는) 긴급상황에 대한 극한한계상태를 만족하도록 설계될 것이다.

성능 매트릭스는 구조물의 성능기준을 묘사하는 데 효과적인 방법이다. 성능 매트릭스에서 설계조건과 한계상태는 좌표계의 축으로써 나타나며, 성능기준은 구조물의 중요도에 따라 배열된다.

사업의 진행과정에서 사업자나 발주자, 설계자 그룹, 심사자, 계약자 및 시공자 등 관련부문은 적절한 형식의 다양한 서류를 통하여 필요·타당한 정보를 교환하게 된다. 사업의 준비단계에서는 연구가 필요하다고 판단되는 경우 심사자나 설계자에 의해 "보수조사보고서"나 "수행연구보고서"가 사업자나 발주자에게 보고된다. 기초설계의 경우, 지반설계를 위하여 조사자에 의해 마련된 "지반조사보고서"가 필요하

다. 사업의 설계단계에서 결과는 설계보고서의 형식으로 설계자에 의해 사업자나 발주자에 보고된다. 사업의 시공단계에서 건설관리 계획은 시공자에 의해 "시공관리계획"의 형식으로 사업자나 발주자 및 설계자에게 보고된다. 또한 계약자는 시공결과를 "시공관리보고서"로서 사업자나 발주자 및 설계자에게 보고하게 된다. 프로젝트가 완료될 때 설계자는 사업자나 발주자에게 "유지관리보고서"를 제출하도록 권고된다. 그 보고서는 설계보고서 내의 구조물 유지관리 및 시공 중 예측치 못한 문제에 의한 설계변경에 관련된 항목의 요약내용으로 구성된다. 설계보고서는 구조물이 공용되는 동안 사업자나 발주자에 의해 보전된다.

3. 구조물 기초 분야 성능기준의 개념 및 특성

가. 개요

지난 여러 세기 동안 시방기준(specification-based)이 되는 이론적이고 귀납적인 지식기반의 접근법이 토목공학 설계와 평가에 상당한 기여를 해왔다. 그러나 설계, 시공 그리고 시공된 시설물들에 대한 기존의 접근법은 규정된 코드에 의존하기 때문에 많은 프로젝트에 대해 부적합할 수가 있다. 사회기반시설을 유지하기 위한 비용이 이미 상당한 수준에 도달하였으며 사회기반시설의 구축에 대한 사회적 시각도 변화하고 있다.

예를 들면 설계-시공에서 설계-시공-보증(Design-Build-Warrant), 재정-설계-시공-운영(Finance-Design-Build-Operate)등으로 진화되어 가고 있다.

그러나 아직도 국내 지반기술자들에게 "성능설계"라는 단어가 익숙하지 않은 것이 사실이다. 그러나 허용응력설계, 강도설계법등 토목구조물 설계에 일반적으로 사용되어 왔던 전통적인 설계법에서 성능설계란 새로운 기법이 토목구조물 설계 분야에 도입된 지도 벌써 10여 이상이 되었다. "성능설계"란 시방기준에 정해진 설계기법과는 달리 설계자나 계약자가 보다 유연성을 가지고 설계와 시공을 할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다. 또한, 구조물의 중요도에 따라 요구되는 성능기준을 조절함으로서 보다 경제적인 설계나 시공이 되도록 하는데 있다.

토목기술자는 다른 산업분야와 비교하여 명확히 개념화 하거나 특성화하기 어려

운 매우 크고 복잡한 구조물들을 설계, 시공, 관리한다. 일반적으로 토목 구조물은 구조물의 종류에 따라서 짧게는 몇 개월에서 부터 길게는 수 백 년 이상의 수명(life cycle)을 가지고 있다. 국내 및 세계 건설시장의 경쟁이 치열해 짐에 따라서 최소의 비용과 위험으로 요구된 성능과 질을 만족시키는 설계가 생존을 위해 필수적이다. 최근 들어 국내에서도 이러한 세계적인 조류에 발맞추기 위해서 구조물 성능설계 분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

나. 구조물 설계 기준의 개념[42)]

토목구조물 기초 설계 분야의 발달과정은 다음과 같다.

- 응력설계
- 강도설계
- 한계상태 설계 : 허용파괴 확률
  - ◇ 하중/action 그리고 재료의 강도
    - 수준(Level 1) 반-확률적인(특성값)
    - Level 2 요소수준(이상분포)
    - Level 3 시스템 수준(실제분포)
  - ◇ 모델링과 해석절차
    - 사용한계상태를 위한 선형해석
    - 극한상태에 대한 비선형 또는 소성해석

토목구조물의 설계법은 초기에 허용응력설계법이 주를 이루어 사용되어 오다가 강도설계법으로 발전을 하여 현재까지도 사용되고 있다. 그러나 현재에는 허용파괴확률을 고려한 한계상태 설계법이 새로운 설계법으로 대두되어 부분적으로 적용되기 시작하였다.

한계상태 설계법에서는 구조물에 작용되는 하중과 지반의 특성, 재료의 강도 등에 대해 확률특성을 적용하여 설계에 반영하고 있다. 이와 같은 특성을 반영한 설계법을 미국이나 영국, 일본, 등 세계 각국에서 표준 설계법으로 채택하려 하고 있

---

42) NKB(1978): Structure for Building Regulations, NKB Report No. 34
Orr, T.L.L. and Farrell, E.R. (1999): Geotechnical design to Eurocode 7, Springer

다. 그러나 구조물의 효용성이나 사용성 그리고 내구성 등 아직도 코드화하여 충분하게 설명하기가 어려운 부분등 해결해야 할 많은 과제들을 알고 있다. 그러므로 설계자의 지식/경험 그리고 창조성이 성능설계의 성공적인 수행을 위해 필요한 요소로 작용하고 있다.

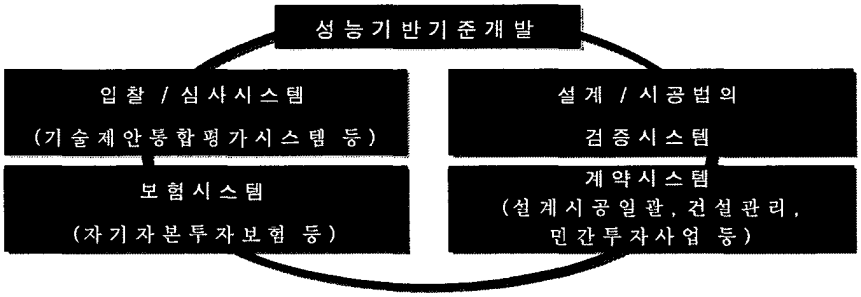


그림 3.28 성능설계 시스템

위 그림과 같이 새로운 설계법으로 등장한 성능설계법은 성능지향 코드개발 뿐만 아니라 다른 시스템의 균형 있는 조화는 성능기반설계의 확산 및 장점을 최대화하기 위해 필수적인 요소로 고려되고 있다.

지난 여러 세기 동안 시방기준이 되는 이론적이고 귀납적인 지식기반의 접근법이 토목공학 설계와 평가에 상당한 기여를 해왔다. 그러나 설계, 시공 그리고 시공된 시설물들에 대한 기존의 접근법은 규정된 코드에 의존하기 때문에 많은 프로젝트에 대해 부적합할 수가 있다. 사회기반시설을 유지하기 위한 비용이 이미 상당한 수준에 도달하였으며 사회기반시설의 구축에 대한 사회적 시각도 변화하고 있다. 예를 들면 설계-시공에서 설계-시공-보증, 재정-설계-시공-운영 등으로 진화되어 가고 있다. 현재의 시방기준에 의하면 제방의 경사는 1:1.5라고 기술되어 있다. 그러나 성능기반설계시스템에서는 제방에서 발생할 수 있는 성능요구조건(예, 수압파괴나 전체의 안정성에 대한 안전성 확보)따라 경사를 변경 할 수가 있다. 이 경우 다음과 같은 논쟁이 설계자들 사이에서 일어날 수가 있다. 즉, 기존시방기준"에서 벗어난 혁신적인 설계법이 요구된 성능을 만족하는지 유, 무 그리고 어떤 절차로 수행되어야 하는지, 누가(또는 조직)이 승인할 것인가가 중요하며 예측치 못한 사고가 일어날 때 누가 책임을 지는가? 설계자들은 보험을 가입해야 하는가? 설계와 시공에 대한 안정성은 누가 보장을 하나? 그리고 의뢰인과 설계자/시공자 사이에 발생 가능한 위험을 어떻게 공유할 것인가도 중요하다. 아래 그림과 같이 사회기반시설의 설계 시스템이 개별 시스템에서 통합된 시스템으로 전환되어 가고 있다.

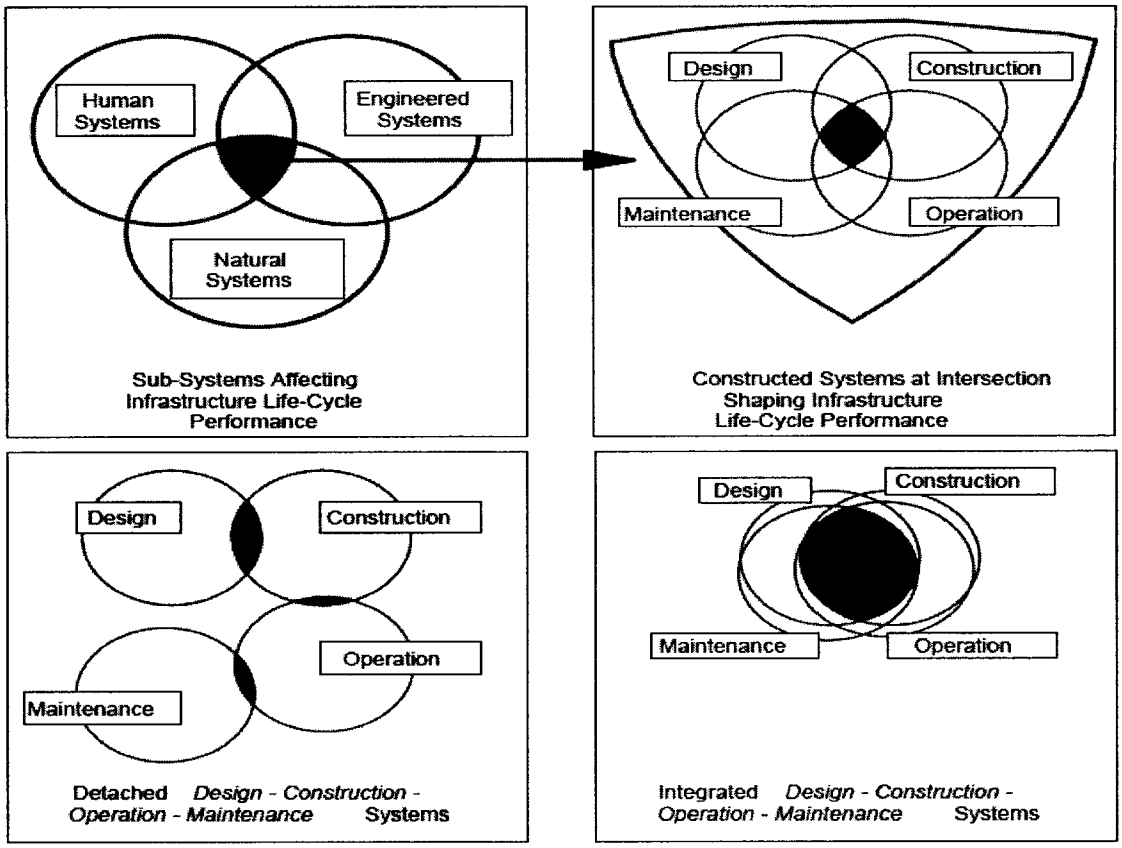


그림 3.29 사회기반구조물의 성능설계 시스템

다. 구조물 기초 성능 기준의 특성

구조물 기초에 있어서 성능기준의 특성은 신뢰성 이론과 확률이론을 기반으로 한 기초구조물 설계법의 국제표준화 코드를 국내실정에 적합한 방법으로 개발하여, 국내 기술자들 적용한다. 그리고 다양한 국내의 현장조사, 실내시험 및 자료를 데이터베이스화하여 지반정수의 상세분석으로 다양한 설계변수의 불확실성과 변동성을 기반으로 하는 해석 및 설계기준의 개발이 필요하다. 또한, 깊은 기초, 얕은 기초, 사면, 연약지반 등의 지반구조물 성능설계 자료를 활용하여 흙을 재료로 하는 하부기초 구조물에 대한 성능설계 자료 등을 확보한다. 이를 통하여 상부구조물의 안정성을 유지할 수 있으며 향후 이러한 성능설계 기준을 개발하여 설계 및 시공 편람으로 작성하고 성능설계 기준의 정착화로 구조물 요구성능을 만족하는 표준화 기준을 마련하는데 있으며 지반의 변형상태를 고려한 기초 구조물 성능설계 기준이 필요하다.

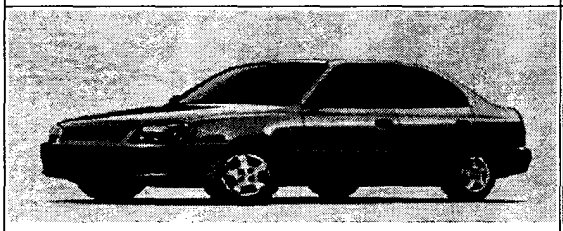
미국의 경우, 빌딩, 교량, 도로 등과 같은 일반적인 토목구조물들이 규정된 코드에 의해서 설계되고 수많은 하부 구조물들이 절차지향(process-oriented manner)기법으로 시공되어 왔다. 이들 시설물들은 보통 1년의 보증기간을 갖거나 보증기간이 없는 경우가 대부분이다. 그 결과 이와 같은 구조물의 운영, 유지 그리고 관리가 설계나 시공과 별개로 다루어지며 서로 간에 상호 연관성 없이 다루어지고 있는 경우가 많았다.

표 3.36 성능설계와 시방규정의 비교

성능설계	시방규정
극한하중이 재하되는 경우 구조적인 파괴를 보호할 수 있는 허용수준	직경 1/2인치볼트를 6인치 간격으로 배치해야 외벽의 문지방을 기초에 고정시킬 수 있다.

효용성, 사용성, 내구성은 아직도 코드로 충분하게 설명하기가 어렵다. 설계자의 지식/경험 그리고 창조성이 성공적인 설계를 위해 필요한 요소이다. 새로운 규모, 시스템, 재료, 절차 그리고 사용모델 등은 쉽게 코드화하기 어렵다. 또한, 관련된 목적물의 측정도구가 필요하다. 즉: 성능, 상태, 건전도, 피해정도등 사회기반구조물 전체에 대한 종합적인 평가방법이 필요하다. 그러나 때때로 공식화하기가 어렵고종합의점을 도출하기가 어려워 정량적인 기준을 마련하기가 어렵다. 특히, 성능설계에 대한 평가시 해석적 또는 실험적으로 의미 있는 정량적인 양을 측정하는 방법을 찾아야 한다.

표 3.37 자동차와 건설의 비교

생산지향 접근법	절차지향 접근법
	
● 2001년형 소형차 ● 가격 : 12,000불 ● Performance Metrics ! ● 보증기간 - Bumper-to-Bumper : 5년 - Powertrain : 10년	● Hamilton Co. 교량(1997) - 24개 협력사 - 관련 기관 ● 가격 : 100만불~200백만불 ● 성능매트릭스 ● 보증기간 : 없음

4. 구조물 기초 분야 성능기준 개발대상 및 범위

가. 구조물 기초 성능기준 개발대상

성능기준의 적용은 구조물 기초와 구조물의 전체를 대상으로 삼아 구조물의 설계 및 시공 관련 기술기준의 선정·개정의 기본적 방향을 보일 수 있어야 한다. 한편, 성능기준에서는 구조물의 시공성, 안전성등 기본적 요구성능에 영향을 미치는 요인을 명확히 밝히는 것이 기본으로 신뢰성설계의 사고방식을 기초로 하고 있다. 이 기준은 국제표준에서 조정한 각종의 기술기준 등을 참고하여 작성한다.

구조물 기초에서 대상으로 하는 구조물은"목적이란 기능을 가지고, 작용에 대하여 저항하는 것으로 인위적으로 만들어진 것"을 고려한다. 이들 구조물기초의 개발대상으로는 우선적으로 구조물기초 분야는 깊은 기초, 얕은 기초, 사면, 연약지반, 제방 등을 고려해야 한다. 또한, 우리나라에서 빈번하지 않지만 진동기계기초나 내진해석 등에 대한 성능기준도 포함되어야 한다. 이미 일본에서 건축물, 철도, 항만 등의 구조물 기초에 대하여 성능설계기준을 정립하고 있는 실정이다.

구조물의 설계는 안전성, 사용성이라고 한 사항 이외에, 경관, 자연 환경에 주는 영향, 경제성 등에도 배려한 종합적인 것이지만, 여기에서는, 설계 및 시공의 기본으로 규정한 사용성, 안전성 등을 고려한 "구조설계"에 한정해서 생각한다.

미국, 일본 등 일부 선진국에서는 성능기준의 확립을 위해 정부 기관 및 각종 연구 기관의 협력 하에 다각적인 연구가 수행되고 있는 반면, 국내 성능기준에 관한 연구는 최근 들어 관련 연구가 시작된 상황이며, 국내의 성능기준설계에 대한 인식은 매우 부족한 상황이다. 성능기준의 개발과정이 체계적으로 진행되면 설계 및 시공기술이 세계적으로 기술적 우위를 차지할 수 있으므로 국내에서도 시설물별로 성능중심의 건설기술기준 개발을 위한 연구가 활성화 되어야 할 것이다.

나. 구조물 기초 성능기준 개발 범위

성능기준의 개발범위는 구조물 기초의 기본적 요구 성능에 영향을 끼치는 요인을 명시적으로 취급하는 것을 기본으로 하고 공공구조물에 대해서 제도적 장치를 통하여 우선적으로 적용할 수 있으며 일본의 경우도 이와 유사하다. 또한 공공구조물의 경우 설계 및 시공시에 비교적 투명성, 명확성이 요구되므로, 구조설계에 있어서의

투명성, 구체화의 확보라는 점을 고려하도록 한다. 구조물의 기본적 요구 성능에의 영향 요인을 명시적으로 취급하고, 국제적 설계 기술표준의 동향을 고려하여, 지침의 사고방식의 기초를 신뢰성설계에 둘 수 있다. 구조물 기초의 전분야를 통한 전체 기준골격을 갖춘 상태에서 각 구조물에 있어서 공통적인 기술표준을 작성함으로써 성능기준을 개발할 수 있으며 우선적으로 콘크리트, 강구조와 연속성이 유지될 수 있는 교량 구조물 기초 즉, 깊은 기초, 얕은 기초를 대상으로 콘크리트 성능기준, 강구조 성능기준 등을 참고하여 설계 대상이 되는 구조물 특성에 따라서 기준을 선택하는 사항도 포함되어야 한다. 가능한 한 정확하게 구조물의 한계상태를 모사하는 계산법을 채택하는 설계와 비교할 때, 관례적인 평가방법(또는 해를 만족시키고자 하는 방법)은 한계상태의 이해와 직접적으로 연관되지 않는 계산이나 기타 수단(예를 들어 명확한 시방서)에 의해 구조물의 성능설계나 시공상태를 검증해야 한다. 이러한 성능 설계나 시공기준의 검증방법의 연구는 경험이나 실험식에 의하여 증명할 수도 있다고 판단된다.

5. 구조물 기초 분야 성능기준 개발을 위한 접근방법 및 개발방법

가. 성능기준 개발을 위한 접근방법

성능기반 설계 및 시공를 통하여 시설물의 정확한 성능 예측, 이를 통한 적절한 설계 및 안전성을 확보하는 것이 필요하지만 사전에 설계기준을 만들 수 있는 설계정수 결정을 위한 지반조사자료의 정확성을 유지해야 한다. 시설물에 대한 요구성능을 정의하고, 이를 객관적으로 평가, 판단할 수 있는 지반정보 데이터 베이스 시스템을 구축하여 산재해 있는 지반정보를 공유할 수 있음으로써, 설계자 및 시공자의 기술경쟁을 유도할 수 있을 것이다. 시설물별로 성능기준 개발을 위한 기초연구를 수행함으로써, 장기적으로 성능중심의 건설기술기준을 개발하도록 한다.

신공법을 일반 시방기준에서도 도입할 수 있는 근거를 마련하고, 신기술의 적용결과를 공개하여 기술자들이 토론함으로써 성능을 기반으로 새로운 설계법을 적용

할 수 있는 근거자료로 활용하고 시행착오를 통하여 설계 기준을 제시함으로써 설계자 및 시공자가 새로운 기술을 개발하고 유지관리 비용에 대한 현실적인 평가도 가능할 것이다.

나. 성능기준 개발을 위한 방법

시설물별로 성능기준 개발을 위해서는 시설물의 사용성, 성능, 품질이 향상, 설계도서에 대한 검토가 필요하며 공청회를 통하여 기술자와 발주처간의 견해차이를 좁히도록 한다. 또한, 시험자료의 불충분으로 변동성이 매우 크게 평가되는 경우, 구조물의 비경제적인 설계가 발생될 수 있으므로 가능한 보다 많은 데이터를 확보하는 것이 유리하고 모든 데이터는 필터링의 과정을 거쳐 신뢰수준이 높은 평균치가 채택되어야 하며 이를 추론치라 한다. 추론치는 이론 또는 경험적·통계적 상관관계에 기초하여 측정치로부터 산정된 제반재료의 특성을 나타내는 값이다. 일례로써 SPT N치로부터 산정된 모래의 상대밀도 및 삼축시험 결과에 의한 Mohr의 원으로부터 얻어진 마찰각과 점착력이 해당된다. 또한 충분한 시험자료의 수집이 어려운 경우 시뮬레이션 방법 등을 통하여 신뢰할 수 있는 값을 추정하여야 한다. 이를 통하여 설계에 적용할 수 있는 합리적 기준(특성치)을 제시할 수 있어야 설계치를 확정할 수 있다. 특성치는 설계상 구조물-기초-지반시스템에 근거한 문제에서 한계상태의 발생을 예측하기 위해 가장 타당한 값으로써 평가되는 대표치이다. 원칙적으로 특성치는 추론치의 평균에 대한 신중한 평가이다. 여기서 평균치는 직접적인 산술평균을 의미하는 것이 아니라 평균치를 얻고자 할 때 통계학적 평가오류가 고려되어야 한다는 것이다. 또한 평균치의 이러한 신중한 평가는 지질학적·지반공학적 이론, 유사현장의 경험뿐 아니라 가능하다면 일부 다른 결과에 근거한 값의 일관성 및 교차검증을 고려한다. 장기적으로 성능기준 항목에 대하여 설문조사를 통해 설계 및 시공자의 공유의식을 유도하고, 이를 통해 설계 및 시공기술의 경쟁력을 증가할 수 있다. 특히, 일차로 검토된 기준안은 지침작성을 통하여 설계자, 시공자, 발주처의 의견 청취를 위한 안으로서 작성하여 최종 정리하도록 한다.

6. 구조물 기초 분야 작성지침 기타[43)]

가. 설계의 기본적 요구성능

(1) 설계 대상으로 삼는 구조물의 설계 공용 기간을 정한다. 설계 공용 기간은, 설계와 동시에, 설정 기간 동안에 목표하는 안전수준을 확보하는 기간이다.
(2) 설정된 작용에 대하여 적절에 기능을(사용성) 할 수 있도록 구조물을 설계한다.
(3) 설정된 작용에 대하여 구조물내외의 인명의 안전등을 확보(안전성)할 수 있도록 구조물건을 설계한다.
(4) 필요할 경우에는, 설정된 작용에 대하여 기술적, 경제적으로 가능한 범위에서 복구를 하여 지속적인 사용이 가능하도록 구조물을 설계한다.

나. 한계상태

(1) 일반

한계상태는, 극한 한계상태, 사용 한계상태, 회복 한계상태로 구분한다. 단, 설계 대상으로 삼고 있는 구조물의 목적 등에 따라 한계상태를 선택한다.

표 3.38 전체 한계상태

① 극한한계상태(안정성)	부재의 파괴나 큰 변형 등에 의해, 안정성이 손상되지 않고 구조물내외의 인명에 대한 안전등을 확보할 수 있는 한계 상태	
	특정작용한계상태	피로 한계상태(변동 작용의 반복작용에 따르는 피로손상으로 발생)상태
		내구한계상태(환경인자의 영향에 의한 손상으로 발생)
		내화한계상태(화재로 인한 손상으로 발생)
② 회복한계상태(복구성)	손상 후, 적용 가능한 기술과 타당한 경비 및 기간의 범위에서 복구를 하면, 계속 사용이 가능하게 할 수 있는 한계의 상태.	

43) Honjo, Y. and O. Kusakabe (2002), Proposal of a comprehensive foundation design code: Geocode 21 ver. 2, Foundation Design Codes and Soil Investigation in view of International
Honjo, Y., Y. Kikuchi, M. Suzuki, K. Tani and M. Shirato (2005), JGS Comprehensive Foundation Design Code: Geo-code 21, Proc. 16th ICSMGE, pp.2813-2816, Osaka

③ 사용한계상태(사용성)	구조물의 기능이 확보되는 한계의 상태	
	특정작용한계상태	피로 한계상태(변동 작용의 반복작용에 따르는 피로손상으로 발생)
		내구한계상태(환경인자의 영향에 의한 손상으로 발생)
		내화한계상태(화재로 인한 손상으로 발생)

ISO규격에서 한계상태 예를 살펴본다. ISO의 TC71/SC4에서 제안된 Performance Requirements for Structural Concrete의 초안에는 한계상태를 극한한계상태(Structural Safety), 사용 한계상태, 내구한계상태(Durability Limit States), 내화한계상태(Fire Resistance Limit States), 피로(Fatigue)로 구분하고 있다.

(3) 극한한계 상태

극한한계상태는, 구조물, 부재의 파괴나 큰 변형 등에 의해, 안정성이 손상되지 않고, 구조물 내외의 인명에 대한 안전성을 확보할 수 있는 한계의 상태를 말한다.

한편, 다음의 손상에 의해 구조물의 안정성이 손상되지 않고, 구조물의 내외의 인명에 대한 안전성을 확보할 수 있는 한계의 상태(특정 작용 한계상태)을 포함하는 것이라고 한다.

- 변동 작용이 반복해 작용하는 것에 따른 피로 손상(피로 한계상태)
- 환경인자의 영향에 따르는 손상(내구한계상태)
- 화재에 따르는 손상(내화한계상태)

(4) 사용한계 상태

사용 한계상태는, 구조물의 기능이 확보되는 한계의 상태를 말한다. 한편, 다음의 손상에 의해 구조물의 사용성이 손상되지 않는 한계의 상태(특정 작용 한계상태)를 포함한다.

- 변동 작용이 반복해 작용하는 것에 따르는 피로 손상(피로 한계상태)
- 환경인자의 영향에 따르는 손상(내구한계상태)
- 화재에 따르는 손상(내화한계상태)

(5) 복구한계 상태

복구 한계상태는, 손상 후, 적용가능한 기술과 타당한 비용 및 기간의 범위에서 복구를 행하면, 계속 사용이 가능하게 할 수 있는 한계의 상태를 말한다.

ISO 2394에서 한계상태의 정의는 다음과 같다.

한계상태	ISO2394
일반	구조물 전체 또는 부분의 구조성능은, 구조물에 의도된 상태 또는 의도되지 않는 상태라 구별하는 일련이 정해진 한계상태에 관해 기술되지 않으면 안 된다. 한계상태는 다음 2개의 범주로 구분할 수 있다 a) 최대 내진능력에 관한 극한한계상태 b) 통상의 사용에 관한 사용한계상태 한계상태의 초과는, 회복가능할 경우와 회복불가능할 경우가 있다. 회복 가능한 경우, 초과된 한계상태와 관련된 손상이나 기능 상실은 구조물이 복구될 때까지 남는다. 회복가능할 경우, 손상이나 기능 상실은 초과된 한계상태의 원인이 존재하는 경우에만 남는다. 이 원인이 제거되면, 즉시 의도되지 않고 있는 상태로부터 의도된 상태에 되돌아온다.
극한한계 상태	극한 한계상태는 다음 것을 포함하고 있다 a) 강체라고 생각했을 때의 구조체 또는 구조부분의 균형의 상실 b) 파괴 (있을 경우에는, 피로나 부식에 의한 영향을 받은 것도 포함한다)에 의한 단면이나 부재료, 접합부의 최대내력에의 도달이나 과도 한 변형. c) 구조체 또는 그 일부의 메커니즘(mechanism) 상태에의 이행 d) 구조체 또는 그 일부의 안정성의 상실 e) 가정한 구조 시스템으로부터 새로운 구조 시스템에의 급격한 변화 한계상태를 초월하는 것은, 대부분의 경우 언제나 회복 불가능한 상태이며, 처음으로 그 상태를 초월했을 경우에 붕괴가 일어난다.
사용한계 상태	사용 한계상태는 다음 것을 포함하고 있다 a) 구조체의 내구성을 저감시킨다, 혹은 구조부 재료 또는 비구조부 재료의 유효성 또는 외관에 영향을 주는 부분적 손상(균열)을 포함한다. 반복 하중은 부분적인 손상에 영향을 준다. b) 구조부 재료, 비구조부 재료 또는 설비의, 유효한 사용 혹은 외관에 영향을 주는 허용되지 않는 변형 c) 불쾌감을 생기게 하는 와카(若) 미친다는 비구조부 재료의 또는 설비에 영향을 주는 과도 한 진동 부분적인 잔류 손상 혹은 허용할 수 없는 잔류 변형의 경우, 사용 한계상태를 초과되는 것은 회복불가능한 상태이며, 처음으로 이 상태에 빠졌을 경우에 붕괴에 이른다. 그 밖의 경우, 사용 한계의 초과는 회복가능해서, 그 후, 붕괴가 일어난다. 그것은, a) 어떠한 초과도 허용되지 않는다고 했을 경우의 사용 한계상태를 초월하는 최초의 때 b) 초과는 허용된다고 했을 경우의 구조물건이 의도되지 않는 상태에 있는 시간을 결정할 수 있었던 조건보다 길 경우 c) 초과는 허용된다고 했을 경우의, 사용 한계상태를 초과하는 회수를 결정할 수

	있었던 조건보다 많을 경우 d) 상기 기준(criteria)의 조합, 혹은 다른 관련 기준의 조합이 발생했을 경우다. 이것들의 경우는 일시적여서 부분적인 손상 (예를 들면, 일시적인 큰 금 깨어짐), 일시적여서 큰 변형이나 진동을 포함하고 있다. 사용 한계상태에 대한 설계의 기준은 일반적으로 허용되는 변형이나 가속도, 금 깨어짐 등으로 표현된다.

다. 외력의 작용

(1) 정의

작용은 다음의 상태를 의미한다.

- 구조물에 작용하는 역학적인 힘의 원인이 되는 것
- 구조물 변형의 원인이 되는 것
- 구조물 재료를 열화시키는 원인이 되는 물건(환경인자)

한편, 하중은 구조물에 작용하는 작용을 모델화하고, 단면력, 변위 등의 산정 때문에 설계 계산의 입력용으로 변환한다.

작용(Action)	하중(Load)
• 구조물의 특성과는 무관한 것으로, 토목과 건축의 차이는 없다.(단, 지배적 작용도 구조물마다 변한다.)	• 구조물설계의 기본이 되는 것으로, 구조물의 특성에 따라 다르다. • 설계계산이 어렵기 때문의 배려가 필요한 경우도 있다. 등

ISO2394에서는 작용이 아닌 환경요인으로서 다루고 있다.

(2) 분류

작용은, 영속 작용, 변동 작용, 우발작용으로 구분한다.
① 영속 작용 : 구조물의 설계 공용 기간을 통하여 지속적으로 작용하는 작용으로 그 시간적 변동이 평균치에 비교해서 작은 것 또는, 그 변동이 얼마 안 되어서, 한계값을 가지는 작용.
② 변동 작용 : 그 크기의 시간적 변동이 평균치와 비교해서 무시할 수 없고,

단조변화를 하지 않는 작용
③ 우발작용 : 해당구조물이, 그 설계공용기간 동안에는 아마 경험하지 않을 것인 큰 값과 생각되는 작용.
확률통계적 방법에 의한 예측은 곤란하지만, 사회적으로 무시할 수 없는 작용.

(3) 작용부분의 설계 조건

사회적으로 대응의 필요가 있다고 판단되는 작용 및 구조물의 소유자가 필요하다고 판단한 작용을 대상으로 설계를 행한다.

변동 작용에 대해서, 통계적인 평가가 가능한 것은, 기준기간을 정해 재현 기간으로 나타내는 재현 기대치로서 가리킬지, 혹은 비초과 확률을 명시하도록 노력하는 것이라고 한다.

우발작용에 대해서는 통계적인 평가가 행할 수 없지만 작용으로서 이해가 용이한 방법으로 명시하도록 노력하는 것이라고 한다.

(4) 하중의 조합

하중 조합의 기본적 원칙은 다음과 같다.
영속 하중에 더해서, 어떤 하중(변동하중 혹은 우발하중)이 지배적이어서, 극대 설계 값을 낭비하는 것으로서 설정하고, 그 밖의 하중(변동하중 혹은 우발하중)은, 보다 발생할 가능한 값이라고 한다. 한편, 어떤 하중이 작용하는 것과는 별도의 하중의 영향을 상실하는 것 같을 경우에는, 하중의 조합을 고려할 필요가 없다.

초과 확률이 작은 하중에 대하여 사용한계상태를 생각하는 구조물	• 댐(dam)(홍수조절) • 고조 제방
극히 희박한 우발사항에 대하여 사용한계상태를 생각하는 구조물	• 토석류 대응시설

제 4 절 도로부대시설분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발

1. 도로부대시설분야 성능기준의 개념 및 특성 정립

도로부대시설분야의 성능기준 개념 및 특성을 정립하기 위해 우선 도로부대시설을 정의하였고 그 정의의 범위에 해당하는 도로부대시설의 특성을 연구하였다. 도로부대시설분야의 성능기준 개념은 이 특성을 반영하여 정립되었다.

가. 도로부대시설 정의

도로법 제3조에 의하면 도로의 부속물은 도로구조의 보전과 안전하고 원활한 도로교통의 확보 기타 도로의 관리에 필요한 시설 또는 공작물로 정의된다.

도로부대시설의 성능기준 개념 및 특성을 정립하기 위해 본 연구에서 대상으로 하는 부대시설을 정의하면, 도로의 본체(기하구조)를 이루고 있는 토공, 배수공(일부 시설은 부대시설로 포함시키기도 함), 교량, 터널, 포장을 제외한 나머지 도로 시설을 모두 도로부대시설로 간주하였다. 그러나 이는 포괄적인 도로부대시설의 성능기준 개념 및 특성을 정립하기 위한 것이고 향후 도로부대시설의 성능 기준 개발대상 및 범위 설정에서 방대한 종류의 도로부대시설 중에서 중점적으로 연구할 시설물들을 결정하였으며 이를 바탕으로 도로부대시설 성능기준 작성지침을 개발하였다.

나. 도로부대시설의 특성 연구

도로부대시설의 특성을 파악하기 위하여 본 연구에서 정의한 부대시설의 범위를 모두 포함하고 있는 「도로설계기준」에서의 부대시설의 종류 및 기능을 살펴보면 다음과 같다.

① 교통관리안전시설

도로안전표지, 교통안전표지, 도로표지, 노면표시등으로 도로교통의 안전과 원활한 소통을 도모하고 도로구조를 보존하기 위한 시설

② 시인성 증진 시설

시선유도시설, 조명시설 등으로 운전자의 시선을 유도하고, 야간이나 터널과 같이 밝기가 급변하는 장소에서 도로이용자가 항상 안전하게 통행할 수 있도록 도로에 설치하는 안전시설

③ 차량방호 안전시설

방호울타리, 충격흡수시설, 긴급제동시설 등으로 주행 중인 차량의 이탈사고를 방지하고 승객 및 차체에 대한 손상을 최소화하기 위한 시설

④ 낙석방지시설

낙석방지망, 낙석방지울타리 등으로 도로깎기부의 비탈면으로부터 낙석, 토사붕괴 등으로 인한 교통의 장애, 도로구조의 손상 등을 예방하기 위하여 설치하는 구조물

⑤ 도로관리시설

긴급연락시설, 도로교통 정보안내시설, 과적차량 단속검문소, 교통감시시설 등으로 도로교통의 안전과 원활한 소통을 위하여 설치하는 시설

⑥ 비상주차대

우측길어깨가 좁고 고장차가 본선차동에서 대피할 수 없는 도로에서 교통에 혼란을 주지 않기 위해 본선 차도 옆에 설치하는 시설

⑦ 버스정류시설

버스승객의 승강을 위하여 본선 차로에서 분리하여 설치된 띠 모양의 공간으로 이용자의 편의성과 버스가 무리없이 진출입 할 수 있는 위치에 설치

⑧ 주차장

도로와 연계하여 설치하는 주차장 설계에 적용하며 설계기준 자동차를 고려하여 설치

⑨ 휴게시설

휴게시설은 출입이 제한된 도로에서 장시간의 연속주행으로 인한 운전자의 생리적 욕구 및 피로를 해소시키고 동시에 자동차의 주유, 정비, 기타 서비스 시설을 제공하는 시설

⑩ 환경영향저감시설

자동차 주행에 따른 환경피해, 소음, 진동의 차단을 통하여 도로인접지역의 생활환경보전과 공공시설 등의 환경보전을 위하여 설치하는 시설

앞에서 언급한 도로부대시설의 기능을 분석하면 다음과 같이 도로부대시설의 특성을 유도할 수 있다. 하나의 도로부대시설은 하나의 특성만을 갖는 것이 아니라 여러 가지의 특성을 나타낸다. 예를 들면 비상주차대는 편의성, 안전성, 경제성 등의 특성을 포함해야 한다. 아래의 예시는 이해를 돕기 위해 각 특성에 대해 도로부대시설의 일부만을 표기하였다.

- 안전성 : 차량방호시설, 낙석방지시설 등
- 효율성 : 도로관리시설, 시선유도시설 등
- 편의성 : 비상주차대, 주차장 등
- 경제성 : 시설물의 내구성, 시간 가치 등
- 환경성 : 환경영향 저감시설 등

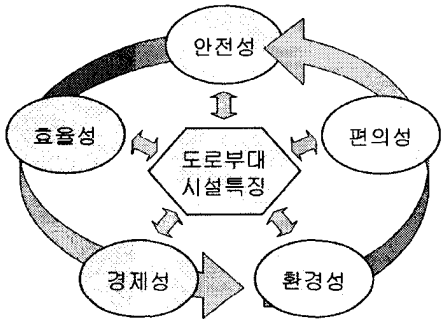


그림 3.30 도로부대시설의 특성

다. 성능기준 정의 파악

도로부대시설에 대한 기준은 사양중심의 기준(prescriptive codes)과 성능중심의 기준(performance based code)로 분류된다. "성능"이란 일정 시점에서 핵심적인 특성에 관한 품질 수준"(ISO 15686)으로 정의되고 "성능기준"이란 방법, 수행절차 등을 제시하는 것이 아닌, 의도된 최종 성과물의 요구성능에 초점을 맞춘 기준이다. 도로부대시설 중, 운전자에게 일정 정보를 제공하여 판단하고 행동함으로써 안전운전을 도모하게 하는 시설(예 : 도로표지, 교통안전표지, 신호기 등)은 사양중심의 기준으로 제시되고 있고, 부대시설의 기능이 운전자의 시각적 반응을 요구하지 않고 교통운영이나 구조물의 안전성을 확보하는 시설(예 : 방호울타리, 충격흡수시설 등)은 성능중심의 기준으로 제시되고 있다.

라. 도로부대시설의 특성을 반영한 도로부대시설 성능기준 개념 정립

앞에서 도로법에서의 도로부대시설의 정의, 「도로설계기준」의 도로부대시설의 기능에서 유도된 도로부대시설 특성 그리고 성능에 관련된 여러 개념들을 바탕으로 도로부대시설의 성능기준 개념과 특성에 대해 정리하면 다음과 같다.

- 성능기준 : 방법, 수행절차 등을 제시하는 것이 아닌, 시설물의 요구 성능에 초점을 맞춘 기준으로 설계분야 성능기준과 시공분야 성능기준으로 나뉨
- 성능시방서 : 공법이나 치수, 형상을 규정하기 보다는 제품의 성능만을 명시 또는 요구하는 최종 결과치를 명시하는 시방. 성능시방서를 사용할 경우 신기술 및 신공법의 반영이 자유롭고 기술개발을 유도할 수 있으며, 조기 파손 등으로 인한 유지관리비용의 절감을 유도함으로 인해 생애주기비용(LCC)을 감소시킬 수 있음.
- 성능설계 : 설계에서 요구하는 성능 목표를 달성하기 위해 설계자의 능력에 따라 검증된 여러 가지 방법을 동원하여 설계를 수행하는 것. 이를 통해 고성능 재료, 신공법의 개발이 가능하고 설계능력 및 해석기술 향상이 가능하며 국내외 건설시장 개방에 적극적인 대응이 가능.
- 도로부대시설의 성능 기준 : 안전성, 효율성, 경제성, 편의성, 환경성 등을 바탕으로 도로부대시설이 각각의 요구 성능을 만족하도록 하는 기준

2. 도로부대시설분야 성능기준 개발 대상 및 범위 설정

앞서 언급했듯이 이 연구에서 정의한 도로부대시설의 범위는 도로의 본체(기하구조)를 이루고 있는 토공, 배수공(일부 시설은 부대시설로 포함시키기도 함), 교량, 터널, 포장을 제외한 나머지 도로 시설들 모두이다. 따라서 광범위한 대상 및 범위로 인하여 도로부대시설 중 일부분을 성능기준 개발 대상으로 선정하고 범위를 설정하기로 하였다. 이를 위해 국내외 도로부대시설 분야의 성능기준 개발 현황을 조사하였고 이를 통해 기존에 성능기준으로 되어 있는 도로부대시설들을 파악하였다. 이는 기존 도로부대시설들이 어떤 성능기준으로 되어있고 그 기존 성능기준의 개선 여부를 파악하기 위함이다. 또한 문헌조사를 통하여 기존 도로부대시설들 중 문제점이 제기되고

있는 시설들을 파악하여 성능기준으로의 개선 여부를 살펴보았다. 조사내용은 다음과 같다.

가. 국내 기준 체계 및 성능기준

국내의 도로부대시설관련 기준 중 성능기준을 찾기 위해 우선 국내 도로시설 기준을 살펴보았고 그 중 도로부대시설이 포함된 기준들을 간추렸다. 그리고 간추려진 도로부대시설 기준들 중 성능기준으로 작성된 도로부대시설들을 파악하여 기존 성능기준의 개선 여부를 파악하기 위해 그 성능기준들이 어떻게 도출되었는지를 살펴보았다.

(1) 국내 도로시설 기준

우리나라 도로시설기준은 크게 법률과 국가기준, 하위기술기준으로 구분된다.

도로에 관한 노선의 지정 또는 인정, 관리, 시설기준, 보전 및 비용에 관한 사항은 도로법에서 규정되고 있으며, 도로시설에 대한 구체적인 기준은 『도로의 구조·시설기준에 r관한 규칙(1999 건설교통부령 제 206호)』에서 정하고 있다.

도로설계 관련 각종 기준들의 체계 및 관리는 기본적으로 『건설기술관리법 제34조(설계 및 시공기준)』 및 건설교통부 훈령 제 369호인 『건설기술개발 및 관리 등에 관한 운영규정 제 31조』에서 정하고 있는 건설공사기준 체계에 따르도록 하여 설계기준과 설계와 관련한 하위기술기준으로 분류하고, 설계기준은 국가기준으로, 하위기술기준은 지침, 편람, 요령, 표준도 등이 있는 것으로 정의한다. 시공관련 기준들은 크게 표준시방서, 전문시방서, 공사시방서로 구분되는 '시방서'와 시공관련 하위기술기준으로 분류된다.

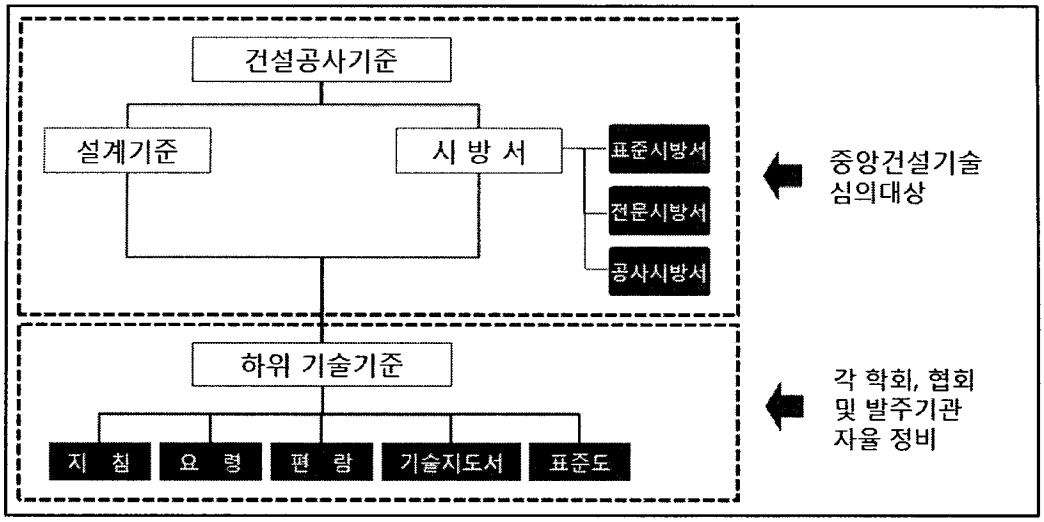


그림 3.31 건설공사기준의 구성 체계

도로시설 및 설계 제 기준의 체계를 정립하여 나타내면 다음 그림과 같다.

국가의 규정(규칙)에 부합하는 도로를 건설하기 위해서는 설계작업과 시공작업이 필요한 바, 설계를 위한 국가기준은 '설계기준', 시공을 위한 국가기준은 '표준시방서'로 한다. 그리고 설계 또는 시공 작업에 관련되는 다양한 하위 기술기준, 즉 지침, 편람, 요령 등이 필요에 따라 작성된다.

법 률		도로법 및 시행령	
작업기준	국가기준	도로시설기준	도로의 구조·시설기준에 관한 규칙
			도로표지규칙 등
		설계기준	도로설계기준
			도로교설계기준
			기타관련 설계기준
		시공기준	도로공사표준시방서
			도로교표준시방서
			기타관련 표준시방서
	하위기술기준	설계·시공 기술기준	각종 관련지침
			각종 관련편람
			각종 관련요령
			각종 관련표준도

그림 3.32 도로시설 및 설계·시공 제 기준의 체계

건설공사 설계 관련한 각종 기준서의 정의는 다음과 같다.

- 설계기준 : 각 시설물별로 설계자가 설계업무를 수행하는 데 있어 시설물이나 작업에 대해 품질, 강도, 안전, 성능 등을 유지하기 위한 설계조건의 한계(최저한계)를 규정한 기준으로서, 건설기술관리법 제 34조 1항에 준하는 기준을 말함(설계와 관련된 시설기준을 모두 포함함).
- 지침 : 설계•감리 및 시공관리 등에 필요한 기술적인 사항들에 대하여 특별히 시설물별로 적절히 응용함으로서 건설공사에 도움이 될 수 있게 세부적인 사항을 관리할 수 있는 기준을 지침으로 정하여 시행하도록 만든 도서를 말한다.
- 편람 : 시설물의 계획, 조사, 설계, 감리, 시공, 유지관리 등의 전 단계에서 나열할 사항을 기본으로 하여 특별한 작업과 관련되지 않아 기준에 기술하기에 곤란한 사항, 기술자가 효율적인 업무수행을 위하여 필요한 사항들을 작성하여 실물에 쉽게 활용하도록 만든 도서를 말한다.
- 요령 : 설계•감리 및 시공의 기술기준과 재료시험방법 작성 등에 대하여 기술자가 능률적으로 업무를 수행할 수 있도록 설계•감리 및 시방서나 자재규격의 범위를 쉽게 풀이하여 작성한 업무요령을 말한다.
- 표준도 : 교각, 암거, 옹벽 등의 구조물에서 유사한 설계빈도가 많고, 공법 및 설계기준 등이 동일한 구조물에 대하여 설계 및 시공단계에서 적용하거나, 참고할 수 있도록 표준화하여 설계기간과 반복공사의 공정을 적정하게 단축하기 위하여 도면형식으로 만든 도서를 말한다.
- 기술지도서 : 신기술 및 외국기술 도입에 따른 새로운 설계•감리 및 신공법, 신개발 자재, 시험방법등과 특정한 분야별 작업방법 빛 이와 관련된 사항을 홍보하여 공사 수행시 현장실무자들이 쉽게 활용할 수 있게 만든 도서를 말한다.

건설공사 시공관련 기준 중 시방서와 관련한 정의는 다음과 같이 시방서 유형별로 정의하고 있다.

- 표준시방서 : 시설물의 안전 및 공사시행의 적정성과 품질확보 등을 위하여 시설물별로 정한 표준적인 시공기준으로서 발주청 또는 설계 등 용역업자가 공사시방서를 작성하는 경우에 활용하기 위한 시공기준을 말한다.
- 전문시방서 : 시설물별 표준시방서를 기본으로 모든 공종을 대상으로 하여 특정한 공사의 시공 또는 공사시방서의 작성에 활용하기 위한 종합적인 시공기준을 말한다.

● 공사시방서 : 공사시방서는 표준시방서 및 전문시방서를 기본으로 하여 작성하되, 공사의 특수성 • 지역여건 • 공사방법 을 고려하여 기본설계 및 실시설계도면에 구체적으로 표시할 수 없는 내용과 공사수행을 위한 시공방법, 자재의 성능 • 규격 및 공법, 품질시험 및 검사 등 품질관리, 안전관리계획 등에 관한 사항을 기술한 것으로 건설공사의 계약도서에 포함된 시공기준을 말한다.

도로의 구조와 시설에 대한 기준은 「도로법 제39조(도로구조 등의 기준) 도로의 구조 및 시설과 도로의 유지 · 안전점검 및 보수는 건설교통부령이 정하는 기준에 의하는 것」으로 규정되며 '도로의 구조 · 시설기준에 관한 규칙'(최근 개정 1999. 8. 9.)에 그 근거를 두고 있다. 본 규칙은 도로를 신설하거나 개량하는 경우 그 도로의 구조 및 시설에 적용되는 최소한의 기준을 규정함을 그 목적으로 하고 있다. 또한 도로설계를 위한 국가기준으로 '도로설계기준'(2005)이 있으며, 하위기술기준으로 다양한 지침과 '도로설계편람'(1999)을 두고 있다. 기반시설 중 도로의 법령 현황을 살펴보면 다음과 같다.

표 3.39 도로 기반시설 법령 현황

법 률	대통령령	부 령
도로법	동법시행령	동법시행규칙
	일반국도노선지정령	
	국가지원지방도노선지정령	
		도로의 구조 • 시설기준에 관한 규칙
		도로표지규칙
		도로유지보수 등에 관한 규칙
		도로와 다른 도로 등과의 연결에 관한 규칙
		어린이보호구역지정 • 관리 규칙
고속국도법	동법시행령	
	고속국도노선지정령	
한국도로공사법	동법시행령	
유로도로법	동법시행령	동법시행규칙
	유로도로관리권등록령	유로도로관리권등록시행령
사도법	동법시행령	동법시행규칙

또한 도로시설의 건설공사기준 즉, 시공기준과 설계기준, 지침, 편람, 요령, 표준도를 살펴보면 다음 표와 같다.

표 3.40 도로시설의 건설공사기준

시공기준	설계기준
• 토목공사표준일반시방서 • 도시철도(지하철)공사표준시방서 • 콘크리트표준시방서 • 건축공사 표준시방서 • 조경공사표준시방서 • 도로공사 표준시방서 • 도로교 표준시방서 • 터널공사 표준시방서 • 하천공사 표준시방서 • 건축전기설비공사 표준시방서 • 건축기계설비공사 표준시방서 • 가설공사 표준시방서 • 산업설비공사 일반표준시방서 • 상수도공사 표준시방서 • 항만공사 표준시방서 • 항만 및 어항공사 전문시방서 • 철도공사 전문시방서 • 농업토목공사 표준시방서 • 농어촌정비공사 전문시방서 • 주택건설 전문시방서 • 댐 및 상수도공사 전문시방서 • 건설공사 전문시방서 • 고속도로공사 전문시방서	• 철도설계기준 • 콘크리트구조설계기준 • 건축표준기준 • 구조물기초설계기준 • 조경설계기준 • 도로설계기준 • 도로교설계기준 • 터널설계기준 • 하천설계기준 • 댐설계기준 • 건축전기설비설계기준 • 건축기계설비설계기준 • 강구조설계기준 • 내진설계기준 • 상수도시설기준 • 하수도시설기준 • 항만 및 어항 설계기준 • 농업생산기반정비사업계획설계기준 • 건설공사의 설계도서 작성기준
총 24종 기준	총 19종 기준

지 침

- 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침
- 도로안전시설 설치 및 관리 지침
  - 시선유도시설 편
  - 과속방지턱 및 미끄럼방지포장 편
  - 교량용 방호울타리 및 조명시설 편
  - 낙석방지시설 및 도로반사경 편
  - 도로전광표지
  - 방호울타리 편
  - 중앙분리대 및 충격흡수시설 편
  - 장애인 안전시설 편
  - 차량방호 안전시설 편
  - 악천후구간터널 및 장대교량설치시설
- 교량 설계·시공 지침
- 도로교하부 설계지침
- 강도로교 상세부 설계지침
- 도로포장 설계·시공지침
- 도로표지관련규정집(규칙 및 지침)
- 도시계획도로의 계획 및 설계 기준
- 환경친화적인 도로건설 지침
- 평면교차로 설계 지침
- 입체교차로 설계 지침
- 도로배수시설 설계 및 유지관리지침
- 보도설치 및 관리 지침
- 건설폐자재 재활용 도로포장 지침
- 국도의 노선계획 및 설계지침
- 터널 방재시설 설치지침
- 터널내 포장 설계지침
- 유지관리를 위한 교량의 설계 및 시공지침
- 콘크리트 교량 가설 특수공법 설계·시공·유지관리지침
- 농어촌도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침
- 비탈면 녹화 설계 및 시공 잠정지침

편 람

- 도로설계편람
- 철근콘크리트설계편람
- 도로용량편람
- 환경친화적인 도로건설 편람
- 투자심사편람(수송부문)
- 교통안전시설 실무편람
- 아스팔트 설계 시공 편람

요 령
• 환경친화적 도로건설 요령 • 강도로교 용접 및 도장요령 • 아스팔트포장 설계·시공요령 • 국도건설공사 설계 실무요령 • 콘크리트 하부구조 설계요령

표 준 도
• 도로부대시설 표준도 • 도로옹벽표준도 • 도로암거표준도 • 도로교 상부구조 표준도 • 도로교 하부구조 표준도 • 조립식 가교각 표준도

(2) 도로부대시설 관련 기준 및 지침

앞에서의 도로시설과 관련된 기준과 지침들 중에 도로부대시설을 포함하고 있는 기준및 지침은 다음과 같다.

표 3.41 도로부대시설이 포함된 기준 및 지침

기준 및 지침	포함된 도로부대시설
도로설계기준(도로의 부속시설)	• 교통관리안전시설 • 시인성 증진 안전시설 • 차량방호 안전시설(방호울타리, 충격흡수시설, 긴급제동시설) • 낙석방지시설(낙석방지망, 낙석방지울타리) • 도로관리시설(긴급연락시설, 도로교통 정보안내시설, 과적차량 단속검문소, 교통감시시설) • 비상주차대

	• 버스정류시설 • 주차장 • 휴게시설 • 환경영향저감시설
도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(해설 및 지침)-도로의 부속시설	• 양보차로 • 교통안전시설(횡단보도육교, 교통안전표지, 방호울타리, 조명시설, 시선유도시설, 표지병, 도로반사경, 충격흡수시설, 과속방지시설) • 교통관리시설(도로안내표지, 긴급연락시설, 도로교통정보 안내시설, 교통감지시설, 교통신호기, 과적자동차 검문소, 교통감시시설) • 주차장 등(주차장, 버스정류장, 비상주차대, 긴급제동시설, 휴게소) • 방호시설(낙석붕괴방지시설, 방파시설, 체인탈착장) • 공동구터널의 부속시설(환기시설, 조명시설, 비상시설) • 방음시설 • 동물이동통로
도로공사 표준시방서(안전시설공사)	• 도로표지 • 노면표시 • 시선유도시설 가. 시선유도표지 나. 갈매기표지 다. 표지병 • 방호울타리 • 충격흡수시설 • 중앙분리대 • 도로조명시설 • 낙석방지 울타리 • 가드펜스 • 현광방지시설 • 도로반사경 • 미끄럼방지포장 • 과속방지턱 • 교통신호기
도로안전시설 설치	• 시선유도시설

및 관리 지침	• 조명시설 • 차량방호안전시설 • 미끄럼방지포장 • 과속방지턱 • 도로반사경 • 장애인 안전시설 • 낙석방지시설 • 도로전광표지 • 악천후 구간 터널 및 장대교량 설치시설 • 긴급제동시설 • 노면요철포장
고속도로공사 전문시방서-교통안전시설공사	• 노면표시 • 충격흡수시설 • 방호울타리 • 시선유도시설 • 도로표지 • 현광방지시설 • 도로조명시설 • 노면요철포장
도로표지관련규정집(규칙 및 지침)	• 반사지의 성능
도로부대시설 표준도	• 차량방호 안전시설 • 시선유도시설
교통안전시설 실무편람	• 교통안전표지 설치 관리 매뉴얼 • 교통노면표시 설치 관리 매뉴얼 • 교통신호기 설치 관리 매뉴얼
도로설계편람(1999.12)	• 안전시설(교통관리안전시설, 방호안전시설, 시인성 증진 안전시설, 기타안전시설) • 부대시설(휴게시설, 체인설치제거소, 비상주차대, 긴급연락시설, 방음시설)

성능 기준과 관련하여 그 대상이 되는 도로시설 요소는 규칙에 의하면, 배수시설(제29조), 교통안전시설, 장애인·노인 또는 임산부 등을 위한 시설 등의 교통안전시설 등(제37조), 교통관리시설 등(제38조), 방호시설 및 제설시설(제40조) 등이며, 이들

에 관한 세부적인 적용 사항은 '도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침'(2000. 5)에서 간략히 기술하고 있다.

도로설계의 국가 기준인 도로설계기준에서는 도로부속시설(제9장)이 별도의 장으로 분류되고 있으며, 이에는 교통관리 안전시설, 시인성 증진 안전시설, 차량방호 안전시설, 낙석방지시설, 도로관리시설, 비상주차대, 버스정류시설, 주차장, 휴게실 등 다양한 시설을 포함하고 있다.

도로설계에 관한 종합적인 참고자료라 할 수 있는 도로설계편람에서는 이들 시설을 안전시설 편과 부대시설 편으로 별도로 구분하고, 각 편에서 다양한 시설물을 설계에 관한 사항을 기술하고 있다. 안전시설 편에서는 교통관리 안전시설로 교통안전표지, 도로표지, 노면표시, 신호기, 첨단교통운영시설 등을, 방호 안전시설로 방호울타리, 충격흡수시설, 긴급제동시설, 교량용 방호울타리를, 시인성 증진 안전시설로 시선유도시설, 조명시설, 도로반사경을, 기타 안전시설로 미끄럼방지시설, 과속방지시설, 노면요철 포장, 낙석방지시설 등을 다루고 있다. 부대시설 편에서는 휴게시설, 체인설치제거소, 비상주차대, 긴급연락시설, 방음시설 등을 다루고 있다. 한편 더욱 세부적인 시설요소는 각 관련 시설의 내용에 포함되어 기술되고 있다.

한편 도로 건설공사의 기준이 되는 도로공사 표준시방서에 의하면, 토공사, 배수공사, 교량공사, 터널공사, 포장공사, 교통안전시설공사, 기타공사 등으로 구분하고 교통안전시설공사에 도로표지, 노면표시, 시선유도시설, 방호울타리, 충격흡수시설, 중앙분리대, 도로조명시설 등을 포함하고 있다.

이와 같이 각 관련 기준서(기준, 지침, 편람, 시방서 등)에서는 도로부대시설의 종류를 다양한 분류로 다루고 있다. 또한 교량의 교면배수 유도시설, 교량받침, 교량 연석, 교량 점검시설, 낙교방지시설, 동결방지시설 등 다양한 시설을 포함할 수도 있다.

(3) 성능기준 관련 도로부대시설 기준

현재 성능기준을 시행하고 있는 도로부대시설은 시스템적으로 운영되고 있는 차량방호 안전시설과 재료의 반사성능 기준을 반영하는 시선유도시설, 시인성 증진시설, 도로표지 및 노면표시 등이며 각 도로부대시설의 참조규격 및 문헌은 다음과 같다.

표 3.42 성능기준 부대시설의 참조규격 및 문헌

성능기준의 부대시설	성능기준	참조규격 및 문헌
• 차량방호 안전시설	구조성능 탑승자보호성능 충돌 후 차량의 거동	방호책설치기준 동해설(일본도로협회) NCHRP Report 350(TRB) Road Restraint System(CEN)
• 시선유도시설 - 시선유도표지 - 갈매기표지 - 표지병	 반사성능 반사성능 반사성능	 시선유도표 설치기준 동해설(일본도로협회, 1984) KS A 3507(ASTM D 4956) ASTM D 4280, BS EN1463-1
• 도로표지	반사성능	KS A 3507(ASTM D 4956)
• 시인성증진시설 - 장애물표적 표지 - 구조물 도색 및 빗금표지 - 시선유도봉	반사성능	시선유도표 설치기준 동해설(일본도로협회, 1984) KS A 3507(ASTM D 4956) KS A 3507(ASTM D 4956)
• 노면표시	반사성능	교통노면표시 설치 관리 매뉴얼(구 교통안전시설 실무편람)(경찰청, 2005)

방호울타리 및 충격흡수시설 등 차량방호 안전시설은 과거에는 다른 안전시설과 같이 외형에 대해서는 규격 기준을 재료에 대해서는 성능기준을 제시하였으나, 2001년 7월부터 외형에 대한 규격기준은 생략하고, 시설물의 기능과 이에 만족하는 성능을 발휘할 수 있는 성능기준으로 전환하였으며, 이에 대해 '도로안전시설 설치 및 관리 지침-차량방호 안전시설 편'(건설교통부, 2001.7)에서 규정하고 있다. 또한 성능에 대한 평가 확인을 위한 시험 수행을 위하여 '차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람'도 같이 발간하여 활용하고 있다.

시선유도시설은 시설의 일부 재료인 반사체의 반사성능기준을 만족해야 한다. 시선유도표지 반사체의 반사성능은 KS A 3507의 재귀반사체 반사성능 시험법에 따라 측정한다. 반사체의 재료로 합성수지와 반사지를 사용하는 경우에는 다음 표에

제시된 반사성능 이상이어야 하며, 유리를 사용하는 경우에는 표의 반사성능 값에 보정계수 0.5를 곱한 값 이상이어야 한다. 시선유도표지의 성능기준은 일본의 시선유도표 설치기준 동해설(일본도로협회, 1984)을 참고하여 작성하였고, 갈매기표지는 KS A 3507 산업 및 교통 안전용 재귀 반사시트를 바탕으로 성능기준을 작성하였고 이 KS 기준은 미국의 ASTM D 4956 Standard Specification for Retroreflective Sheeting for Traffic Control과 같은 내용이다. 표지병은 1995년 미국 ASTM D 4280 Standard Specification for Extended Life Type, Nonplowable, Prismatic, Raised, RPM과 유럽의 BS EN1463-1 Road Marking Materials, Retroreflecting Road Studs를 참고하여 성능기준을 제정하였다. 다음은 각 시선유도시설의 성능기준이다.

표 3.43 시선유도표지의 반사성능 기준

(단위 : cd/lx · m^2)

관측각	색상	흰 색			노랑색		
	입사각	0°	β_1=10°	β_2=20°	0°	β_1=10°	β_2=20°
0.2°		850	680	510	530	430	310
0.5°		410	340	240	270	220	140
1.5°		13	11	8	8	7	5

표 3.44 갈매기표지의 반사성능 기준

(단위 : cd/lx · m^2)

측광 기하조건		반 사 성 능
관 측 각	입 사 각(β)	노 랑 색
0.2°	-4°	470
	+30°	270
0.5°	-4°	110
	+30°	51

표 3.45 표지병의 반사성능 기준

(단위 : mcd/lx)

측광 기하조건		반 사 성 능	
관 측 각	입 사 각	유 리	플라스틱
0.2°	0°	-	279
0.2°	±20°	-	112
0.3°	±5°	20	220
1°	±10°	10	25
2°	±15°	2	2.5

시인성 증진 시설 또한 시설의 일부 재료인 반사체의 반사성능기준을 만족해야 한다. 장애물표적표지 반사체의 반사성능기준은 일본의 시선유도표 설치기준 동해설(일본도로협회, 1984)을 참고하여 작성하였고 구조물 도색 및 빗금표지, 시선유도봉 반사체의 반사성능기준은 KS A 3507 산업 및 교통 안전용 재귀 반사시트를 바탕으로 작성되었다. 각 시설물의 반사성은 다음과 같다.

표 3.46 장애물 표적표지 반사체의 반사성능(노랑색)

(단위 : cd/lx · m^2)

관측각	색상	노랑색		
	입사각	0°	β_1=10°	β_2=20°
0.2°		530	430	310
0.5°		270	220	140
1.5°		8	7	5

표 3.47 빗금표지의 노랑색 반사성능

(단위 : cd/lx · m^2)

측광 기하조건		반 사 성 능
관 측 각	입 사 각(β)	노 랑 색
0.2°	-4°	170
	+30°	100
0.5°	-4°	62
	+30°	45

표 3.48 시선유도봉 반사체의 반사성능 (단위 : cd/lx · m^2)

측광 기하조건		반 사 성 능
관 측 각	입 사 각(β)	노 랑 색
0.2°	-4°	250
	+30°	150
0.5°	-4°	95
	+30°	65

도로표지의 경우 KS A 3507 산업 및 교통 안전용 재귀 반사시트를 참조하여 다음과 같이 고휘도급과 초고휘도급 반사지의 반사성능기준을 적용한다. 반사지는 고휘도급 반사지나 초고휘도급 반사지를 사용하여야 하며, 반사성능은 다음에 제시한 기준 이상이어야 한다. 반사지는 10년 간에 색의 변화, 반사지의 균열 및 탈리현상이 생기지 않아야 하며, 최초 반사성능의 80% 이상을 유지하여야 한다.

표 3.49 도로표지의 고휘도급 반사지 반사계수 (단위 : cd/lx · m^2)

관찰각(°)	입사각(°)	흰 색	노랑색	빨강색	청 색	녹 색	갈 색
0.2	-4	250	170	45	20	45	12
0.2	+30	150	100	25	11	25	8.5
0.5	-4	95	62	15	7.5	15	5
0.5	+30	65	45	10	5	10	3.5

표 3.50 도로표지의 초고휘도급 반사지 반사계수 (단위 : cd/lx · m^2)

관찰각(°)	입사각(°)	흰 색	노랑색	빨강색	청 색	녹 색
0.2	-4	700	470	120	56	120
0.2	+30	400	270	72	32	72
0.5	-4	160	110	28	13	28
0.5	+30	75	51	13	6	13

노면표시는 야간에 조명이 없는 곳에서도 잘 보일 수 있도록 반사재를 사용하야

여 하며 재귀반사 성능기준은 경찰청의 교통안전시설실무편람을 따른다. 이 교통안전시설실무편람은 2005년에 개정되면서 교통안전표지 설치 관리 매뉴얼, 교통노면표시 설치 관리 매뉴얼, 교통신호기 설치 관리 매뉴얼로 분리되었다.

표 3.51 노면표시의 반사성능 재도색 권장치

구 분	반사성능[mcd/(m^2 · Lux)]				비 고
	백 색		황 색		
설치시	130		90		기 준
제도식 시기	도시내	외 곽	도시내	외 곽	
	50	80	30	50	권 장

주) 입사각 88.76°, 관측각 1.05° 기준

또한 낙석방지시설도 아직 지침 등에 반영되지는 않았으나, 신개념 낙석방지울타리의 특성 및 성능평가(문영종 외 3명, 2003), 낙석방지울타리 낙석지지능력 평가방안 수립 및 성능개선(황영철 외 1명, 2006) 등 성능기준을 반영하기 위한 연구가 수행되었다.

이와 같이 도로부대시설들에 대한 지침은 일부 정립이 완료되기는 하였으나, 이 후 업그레이드가 되지 않아 보완할 사항이 여전히 있고, 최근의 재료 및 기술 발전과 도로교통 여건의 변화에 부응하는 기준 개선이 필요하다. 또한 새로운 기능의 시설물이 나타나고 있는데, 이들에 대한 기준은 전무하거나 미흡한 실정이다.

(4) 외국의 도로부대시설 분야 성능기준 개발 현황

해외의 현황도 앞에서 기술한 국내 현황과 유사하다. 즉 시설에 따라서 대부분의 시설의 경우에는 규격에 대해서 사양중심의 기준을 제시하고 있고, 그를 구성하는 재료 요소에 대해서는 각 국가의 표준(미국 ASTM, 일본 JIS, 영국 BS, 독일 DIN 등)에 부합하도록 하고 있으며, 최근에는 Euro-code와 같이 지역별 국가간 통합화를 추진하고 있다.

방호울타리 및 충격흡수시설 등 차량방호 안전시설에 대해서는 현재 선진국의 모든 국가들이 성능기준을 적용하고 있다.

(가) 미국

1962년 NCHRP가 구성되어 첫 번째 연구 중 하나가 Highway Research Circular 482이다. 이는 충돌시험을 통한 안전시설의 성능 평가에 필요한 차량의 중량, 충돌 각도, 충돌 속도를 제시한 것이다. 이후 1973년 NCHRP Report 153, "Recommended Procedures for Vehicle Crash Testing of Highway Appurtenances" 이 발간되었고, 1978년 TRB에서 Research Circular 191 보고서의 문제점을 개선한 뒤 1981년 NCHRP Report 153과 TRB Research Circular 191의 내용을 통합하고 1970년대의 시험과 연구경험을 반영하여 NCHRP Report 230 "Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluations of Highway Safety Appurtenances"가 발간되었다. 1988년 AASHTO가 지침의 개정 필요성을 인정하여, 1989년 TTI(Texas Transportation Institute)의 Dr. Ross와 NCHRP Report 230을 집필했던 Mr. Michie가 개정 작업에 착수하여 1992년 초, 3년 반만의 각고 끝에 현재 사용중인 NCHRP Report 350 "Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluations of Highway Features"가 완성되어 오늘에 이르게 되었다.

NCHRP Report 350은 평가의 절대적인 기준이 아닌 지침을 제시하고, 이것을 기준으로 받아들일 것인가는 연방 혹은 주정부 도로국의 결정 사항으로 하고 있는 것이 법적 지위로서의 특징이다. 또한 NCHRP Report 350은 안전시설 종류 혹은 등급의 선택, 설치의 필요 위치를 절대적으로 규정하지 않고 AASHTO나 FHWA 같은 기구가 지침에 따라 시설물 평가 적용에 대한 결정을 할 수 있도록 하고 있다.

NCHRP Report 350에 언급된 시설물로는 종방향 방호울타리(Longitudinal Barrier, 유럽은 Safety Barrier) - 노측용 방호울타리(Roadside Barrier), 분리대용 방호울타리(Median Barrier), 교량용 방호울타리(Bridge Railing), 부위별로는 본구간(Length of Need), 전이구간(Transition), 종방향 방호울타리의 단부처리와 충격흡수시설(모래통, 물통), 지주 구조물(표지판, 신호등, 비상전화, 우편함 등의 기둥), 작업지역 교통통제 시설물(플라스틱 드럼, 바리케이드, 콘, 갈매기 표지판과 지주, 유도봉), Breakaway Utility Pole, 트럭 부착형 충격흡수 장치(TMA) 등이 있다. 그 외에 Side slope, Ditch, Medial crossover에 대해 일반적으로 언급되어 있으나, 이들의 Test level은 구체적으로 제시하지 않고 있다.

NCHRP Report 350은 기술적 진보, 시방서의 변화, 차량의 변화 등을 반영하기 위해 NCHRP Project 22-14, "Improvement of Procedures for the Safety-Performance Evaluation of Roadside Features"의 연구를 통해 1, 2차에 걸쳐 수정되고 있다. NCHRP Project 22-14의 1차 연구는 1997년에서 2001년에 걸쳐 이루어졌으며 이 연구의 목적은 다음과 같다.

- 고속도로 시설물의 안전-성능 평가를 위한 절차의 효능성과 적절성 평가
- NCHRP 350의 업데이트 필요성과 이를 수행하기 위한 추천 전략 평가

NCHRP Project 22-14의 2차 연구는 2002년부터 현재까지 수행 중에 있으며 이 연구의 목적은 도로부대시설의 안전-성능 평가를 위한 개선된 절차를 마련하고 절차의 향후 개선에 대한 연구의 필요성을 증명하는 것이다. 이 목적을 위해 업데이트를 검토한 분야는 다음과 같다.

- 실험 차량
- 충돌 상태
- 임계 충돌 지점
- flail space model의 효능
- 토질 유형 및 상태
- 실험 결과 작성법
- working width 측정

표지병의 경우 Standard Specification for Extended Life Type, Nonplowable, Raised Retroreflective Pavement Markers(ASTM D 4280)에서 제시한 반사성능을 적용하였고 반사지의 반사성능도 Standard Specification for Retroreflective Sheeting for Traffic Control(ASTM D 4956)에서 제시한 값을 적용하고 있다.

(나) 유럽

CEN(European Committee for Normalization)은 유럽 각국이 각기 다른 설계기준과 평가방법으로 시설물을 개발 설치해 왔으나 단일 시장을 지향하는 EEC 출범 이후 국가간 자유로운 물자교류에 지장을 초래함으로 정비의 필요성이 제기되어 1990년 도로시설에 대한 기준화 작업을 실시하게 되었다. 차량 충돌시험은 중요한 시험조건인 속도, 각도 충돌시 차량상태, 불안정하고 예측할 수 없는 동적 충돌이나 파괴 등의 이유로 재현이 아주 어려운 시험이다. 지침은 합리적인 범위의 시험경비로 정확도를 기하기 위하여 만든 것이다. 즉 수많은 도로상태나 안전시설의 설치

내용을 그대로 시험에 반영하기는 불가능하기 때문에 지침을 통하여 시험조건을 규준화 시키는 것이다. 국제적으로는 연구결과를 교환하고 비교분석이 가능하기 위해서는 시험이 동일한 조건에서 실시되어야 하는데, 각기 다른 기준을 가진 여러 나라의 평가기준과 방법을 통일시킴으로써 외국에서 개발한 시스템의 신속한 도입을 가능하게 하여 안전에 기여할 수 있게 하자는 것이다. 여기에는 12개의 EEC국가와 EFTA 6개국이 있다. 후에, 중부유럽권 7개 국가가 참여하여 270개의 기술위원회로 시작하였는데 4년 후, 위원회가 두 배로 증가되었고 산업체 정부 연구분야가 총 망라되어 참여하였다. 1988년에서 1989년 사이에 CEN의 기술, 소위 TC226에 Working Group1(WG1)이 발족되어 도로 안전시설분야에 대한 기준 통합을 시작하였다.

1990년 4월 1차 회의에서 CEN/TC226/WG1은 도로시설부분을 "Road restraint system(crash cushion, safety barriers)"과 "Pedestrian way system" 분야로 나누고, 14개국 40명의 전문가와 미국 2인으로 연구를 시작하였다. 여기서 도로시설물은 충돌시험으로 성능을 검증해야 한다는데 의견 일치를 이루고 여러 성능 평가기준을 통일화시킴으로써 기술혁신이 가능하고, 관련업체는 다양한 재료(철, 나무, 콘크리트, 플라스틱 등)로 성능에 맞는 시설물을 설계해 낼 수 있다는데 인식을 같이하게 되었다.

통일화에 있어서 가장 중요한 것은 '충돌시험 조건 및 평가 기준'을 정하고 이로부터 성능 등급(Performance Levels)을 정하는 일이었다. 이를 위하여 2년 동안 각국의 기준 혹은 연구소의 충돌조건을 분석하고 현재 상황을 크게 벗어나지 않는 범위내의 미래 차량의 종류, 크기 등을 예측하였다. 이리하여 총6개 part로 구성된 CEN 보고서가 완성되었는데 Part 1은 "Terminology and General Criteria for Test Methods" 로 용어, 충돌 차량의 상세, 약어에 대한 설명, 탑승자 안전과 관련된 각종 지수(ASI, THIV, PHD, OIV, ORA, VCDI, CIDI)의 설명 및 계산 방법과 보고서 작성 요령에 대하여 기술하였다. Part 2는 방호울타리의 성능 수준, 충돌시험 통과기준, 시험 방법에 대하여, Part 3는 충격흡수시설에 대하여, Part 4는 단부처리와 시행에 대하여, Part 5는 안전시설을 구성하는 각종 재료의 내구성과 품질을 확보하기 위한 규격을, Part 6은 보행자용 난간에 대하여 기술하고 있으나 이는 폐지되었다.

방호안전시설 뿐 아니라 도로조명에 관해서도 2003년에서 2004년 사이에 성능기

준을 정립하였다. CEN EN 13201 Road lighting의 Part 1 Selection of lighting classes는 속도와 도로이용자 유형 등을 고려하여 조명시설을 선택하고 Part 2 Performance requirements는 Part 1에서 선택한 조명시설 등급에 따른 성능기준을 제시한다. Part3 Calculation of performance는 도로 조명 성능을 정해진 절차에 따라 계산하는 방법을 설명하고 Part 4 Method of mesuring the light performance of installations는 설치된 조명시설의 성능기준 측정방법을 서술한다.

Road marking materials - Retroreflecting road studs(BS EN 1463)는 Part 1에서 초기 성능기준을, Part 2에서 성능기준 평가방법을 기술하여 표지병의 성능기준을 제시하고 있다.

외국의 기준개선 동향의 특징은 도로부대시설의 성능을 규정하는 방식으로 기준이 마련되어 가고 있다는 점이다. 이 점은 NCHRP Report 350과 CEN 기준에 철저하게 반영되어 있다. 이러한 방법으로 기준이 개선되는 이유는 구조 제원을 규정하면 경제적이고 효과적인 다양한 아이디어의 창출을 가로 막게 되기 때문이다.

한편 각국에서는 이후로도 기준을 보완하고 발전시키기 위한 다양한 연구를 수행하고 있다. 따라서 각종 부대시설이 그 기능을 충분히 발휘하면서 효율적인 시스템이 개발되도록 이끌어가고 권장할 수 있는 성능 중심의 기준으로 국내기준을 설정해 나가야 하겠다.

나. 도로부대시설 성능기준 개발 대상 및 범위 설정

과거에는 대부분의 시설 기준이 기능적 요구사항에 부합하는 사양중심의 기준으로 제시되었으며, 시설의 구성 요소인 일부 재료에 대해서만 성능중심의 기준으로 제시되었으나, 최근에는 다양한 신재료, 신제품, 신기술의 개발로 기능적 요구사항과 성능요구사항을 제시하고 검증방법을 규정한 성능중심의 기준으로 변화해가고 있는 추세이다.

이러한 추세에 발맞추기 위해 본 연구를 수행함에 있어 앞서 기술한 "도로의 본체(기하구조)를 이루고 있는 토공, 배수공(일부 시설은 부대시설로 포함시키기도 함), 교량, 터널, 포장을 제외한 시설"로 정의한 도로부대시설의 범위는 본 과제의 연구기간에 비해 방대하다고 사료되어 연구의 질을 높이고 보다 나은 연구성과를 도출하기 위

하여 도로부대시설 성능기준 개발 접근방법 및 개발방법을 도출하고 성능기준 작성지침을 개발하기 위한 대상과 범위를 설정하였다.

연구대상과 범위를 설정하기 위한 기준은 해외 기준 중 성능기준을 참고로 하였는지 여부와 안전성이 얼마나 부각되었는가 하는 것이다. 따라서 여러 부대시설들 중 현재 성능기준을 적용하고 있거나 또는 도로이용자에게 안전성 면에서 큰 영향을 미칠 만한 시설들을 판단하여 선정하였다. 현재 안전시설에 관한 자세한 기준은 도로안전시설 설치 및 관리 지침으로 정리되어 있다. 이 시설들 중 이 연구에서 좀 더 중점적으로 다룰 도로부대시설을 다음과 같이 선정하였다.

도로안전시설 설치 및 관리 지침	선정된 도로부대시설
• 시선유도시설 • 조명시설 • 차량방호안전시설 • 미끄럼방지포장 • 도로반사경 • 낙석방지시설 • 과속방지턱 • 장애인 안전시설 • 도로전광표지 • 악천후 구간 터널 및 장대교량 설치시설 • 긴급제동시설 • 노면요철포장	• 재귀반사체(시선유도시설, 시인성증진 안전시설, 노면표시, 도로표지) • 조명시설 • 차량방호안전시설 • 미끄럼방지포장 • 도로반사경 • 낙석방지시설 • 시인성증진 안전시설(시선유도봉)

3. 도로부대시설분야 성능기준 개발을 위한 접근방법 및 개발방법 도출

가. 도로부대시설의 성능기준 개발 접근방법 도출

도로부대시설의 성능기준 개발 접근 방법은 다음과 같다.

- 기존 도로부대시설의 성능기준 분석

- 기존 도로부대시설의 성능기준 참고규격 및 문헌의 개정 여부 조사
- 도로부대시설의 문제점 파악 및 새로운 성능기준 개발

도로부대시설의 성능 기준 개발 방법을 도출하기 위해 우선 도로안전시설 설치 및 관리지침과 그 지침을 작성했던 연구보고서를 검토하여 어떻게 그 기준이 작성되었는지를 분석하였다. 성능기준으로 작성된 도로부대시설과 그 기준 및 성능기준 작성 시 참고로 했던 참조규격 및 문헌들은 앞 절에서 언급한 표 3.42와 같다.

우선 기존의 도로부대시설 성능기준을 작성할 때 참조했던 규격과 문헌들이 개정되었는지를 조사하였다. 만약 현재 우리나라 지침에 사용되는 기준이 개정되었다면 실험, 자문회의 등을 통하여 그 기준의 적용가능여부를 판단한 다음 수정 및 보완하여 도입하면 된다. 개정확인을 위해 조사한 참조규격 및 문헌은 다음 표와 같다.

표 3.52 개정확인을 수행한 참조규격 및 문헌

성능기준의 부대시설		참조규격 및 문헌
차량방호 안전시설		• Terminology and general criteria for test methods, BS EN 1317-1, 1998 • Performance class, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers, BS EN 1317-2, 1998 • Performance class, impact test acceptance criteria and test methods for crash cushions, BS EN 1317-3, 2000 • Performance class, impact test acceptance criteria and test methods for terminals and transitions of safety barriers, BS EN 1317-4, 2001 • Product requirements and evaluation of conformity for vehicle restraint systems, BS EN 1317-5, 2001 • Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features, NCHRP Report 350
시선유도시설	시선유도표지	• 시선유도표 설치기준 동해설(일본도로협회, 1984)
	갈 매 기 표지	• 산업 및 교통안전용 재귀 반사시트, KS A 3507 • Standard sepcification for retroreflective sheeting for traffic control, ASTM D 4956
	표지병	• Standard Specification for Extended Life Type Nonplowable, Prismatic, Raised Retroreflective Pavement Markers, ASTM D 4280

		• Road marking materials - Retroreflecting road studs - Part 1 : Initial performance requirements, BS EN1463-1
시인성증진시설	장애물표적표지	• 시선유도표 설치기준 동해설(일본도로협회, 1984)
	구조물 도색 및 빗금표지	• 산업 및 교통안전용 재귀 반사시트, KS A 3507 • Standard sepcification for retroreflective sheeting for traffic control, ASTM D 4956
	시선유도봉	• 산업 및 교통안전용 재귀 반사시트, KS A 3507 • Standard sepcification for retroreflective sheeting for traffic control, ASTM D 4956
도로표지		• 산업 및 교통안전용 재귀 반사시트, KS A 3507 • Standard sepcification for retroreflective sheeting for traffic control, ASTM D 4956
노면표시		• 교통노면표시 설치 관리 매뉴얼(구 교통안전시설 실무편람)(경찰청, 2005)

앞의 참조규격 및 문헌들을 조사한 결과 갱신이 완료된 도로부대시설은 없었다. Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features(NCHRP Report 350)이 앞 절에서도 언급했듯이 현재 수정중이다. Performance class, impact test acceptance criteria and test methods for terminals and transitions of safety barriers(BS EN 1317-4, 2001), Product requirements and evaluation of conformity for vehicle restraint systems(BS EN 1317-5, 2001)도 현재는 초안일 뿐 확정된 규격이 아니다.

따라서 앞에서 선정된 도로부대시설인 시선유도시설, 조명시설, 차량방호안전시설, 미끄럼방지포장, 도로반사경, 낙석방지시설에 대해 문제점을 파악하여 새로운 성능기준을 마련하기 위한 지침을 작성코자 하였다. 새로운 성능기준을 마련하기 위한 성능기준 개발방법을 도출하기 위한 연구는 다음 절에서 설명된다.

나. 도로부대시설의 성능기준 개발 방법 도출

도로부대시설의 성능 기준의 개발 방법을 도출하기 위해 일본, 미국 등의 타 분야에서 이미 정립된 성능 중심의 기준을 개발하기 위한 개발 방법들을 다음과 같이 조사하였다.

(1) 해외사례 연구

(가) 미국 NCHRP Report 350

NCHRP Report 350에서는 새로운 안전시설물의 개발절차를 다음 그림과 같이 제시하고 있다. 절차는 연구개발단계, 시험운영단계, 운영단계의 세 단계를 거치게 되는데, 연구개발단계에서는 일련의 충돌시험을 거치게 되며 충돌시험결과는 NCHRP의 평가기준에 의해 수행되게 된다. 평가기준을 통과한 시설물은 시험운영단계를 거치게 되는데, 실제로 현장에 설치하여 계속 모니터링 함으로써 현장에서의 안전시설물을 평가하게 된다. 이후에는 운영단계를 거치게 되는데 이때 가장 중요한 것은 현장에 설치되어 운영되는 안전시설물을 지속적으로 모니터링 하는 것이다.

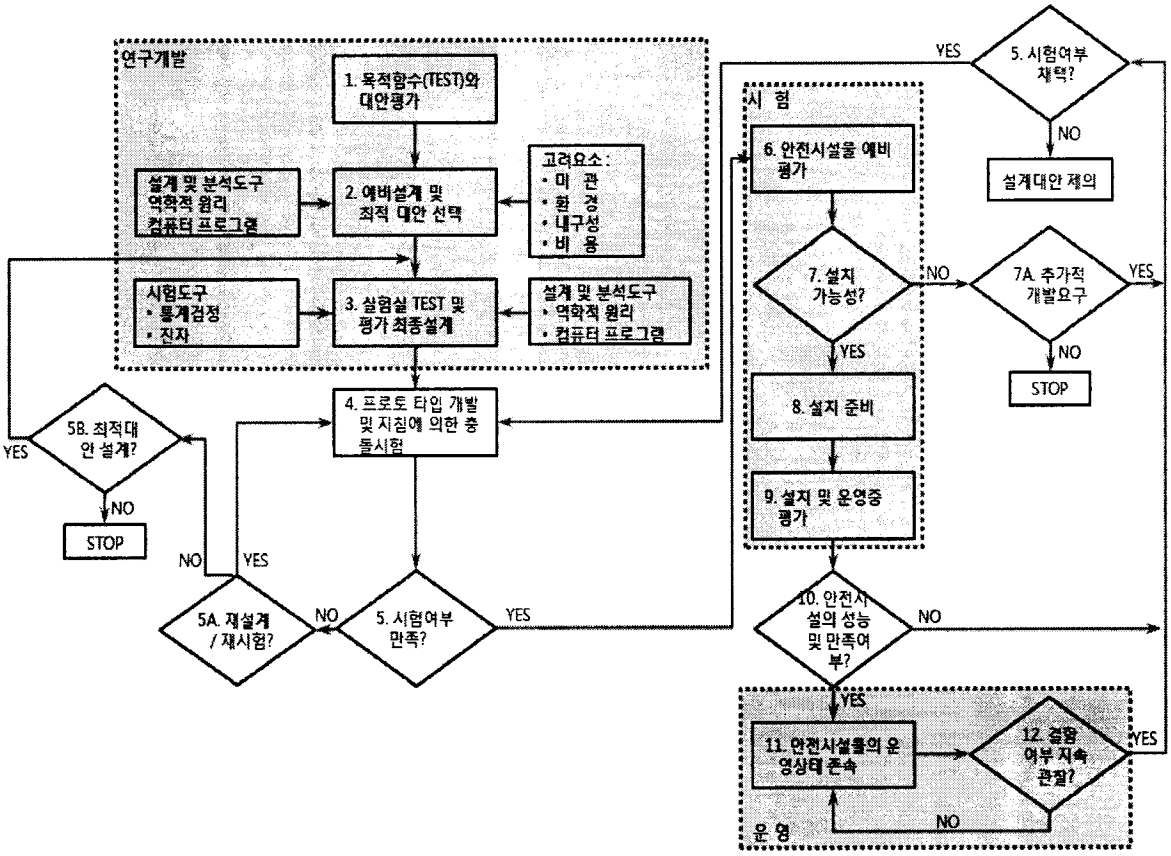


그림 3.33 안전시설물의 개발 절차 및 방법

(나) 일본 포장분야의 성능기준 접근방법

일본의 토목연구소 Takeshi Yoshida는 「Performance-Based Specification as a Step to Performance-Based Management and Maintenance of Pavement in Japa

n」에서 도로 포장을 성능 중심으로 유지 및 관리하기 위해 성능 중심 기준의 접근 방법을 다음 그림과 같이 적용하였다. 이 접근 방법에서 성능 기준을 바탕으로 설치될 시설물의 목표(Goal)와 목적(Objective)의 올바른 정의를 강조하였고 성능지표(Performance Indicator)는 이 목표와 목적의 달성을 평가하는 도구로 사용된다고 설명한다. 따라서 성능지표는 목표와 목적에 적합하게 선택되어야 한다.

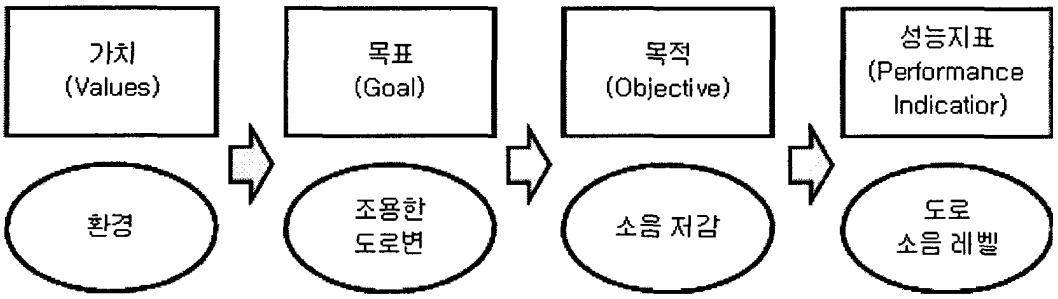


그림 3.34 일본 포장분야에 적용된 성능기준 개념

또한 기존의 기준들이 모두 성능 중심으로 바뀌어야 하는 것이 아니라 성능중심의 기준이란 그 시설물의 최대의 성능과 효과를 나타내도록 성능기준과 사양기준이 적절히 혼합되어 사용되어야 한다. 아래 그림은 기존의 사양 중심 체계는 성능, 결과물, 재료 및 절차, 설계방법이 모두 사양기준으로 되어있으나 성능중심의 기준체계로 전환 시 각각의 단계별로 성능기준을 도입할 수 있다는 것을 보여준다. 즉, 이 연구에서 수행하는 도로부대시설 기준을 성능중심으로 전환하는 것은 성능중심으로 바꾸는 것(change)이 아니라 성능중심이 기존 기준에 포함되는(included) 개념인 것이다.

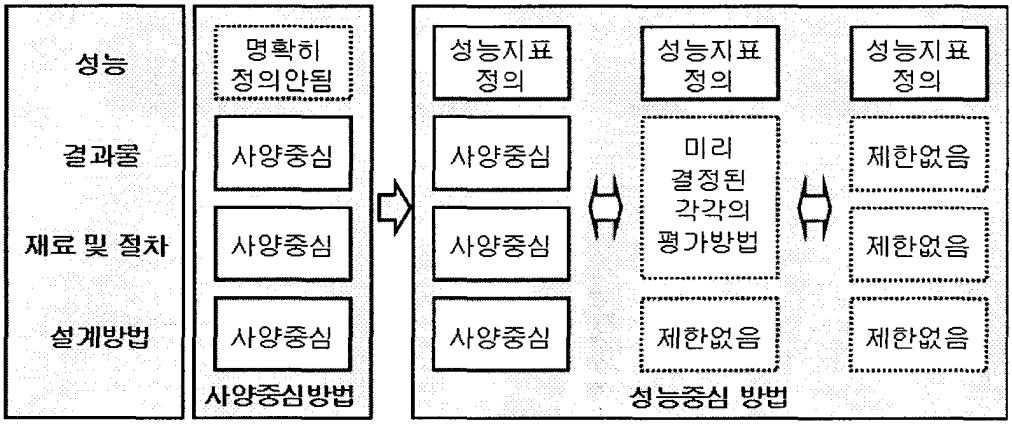


그림 3.35 전통적인 사양 중심 체계에서 성능 중심 체계로의 전환

(다) 일본 항만에 적용되는 성능기준 개발 방법

일본 항만국 항만시설과의 Nagao Takashi는 「Introduction of a Performance Based Design Concept into the Technical Standards for Port and Harbor Facilities」를 통하여 ISO와 같은 국제 표준들에 부합하기 위해 토목 분야의 criteria와 표준들을 성능 중심의 기준들로 수정하는 과정에서 좀 더 명확한 성능 기준 제정을 위해 다음 그림과 같은 기본 구조를 만들었다고 발표했다.

여기서 Technical Standards는 법적 강제성이 내제된 실제 적용되는 표준이며 성능기준에 대한 목적(Objective)과 성능지표(Performance requirement), 성능척도(Performance criterion)를 이 기준에 포함하였다. 또한 기존 사양 중심에서 성능 중심으로 변환되는 과정에서 성능 기준에 대한 좀 더 자세한 설명이 필요하기 때문에 고려되어야할 조치사항과 허용한계치에 대한 내용을 담은 해설(Explanation)과 공식이나 계수에 대한 사례를 담은 첨부물(Attachments)을 추가하였다.

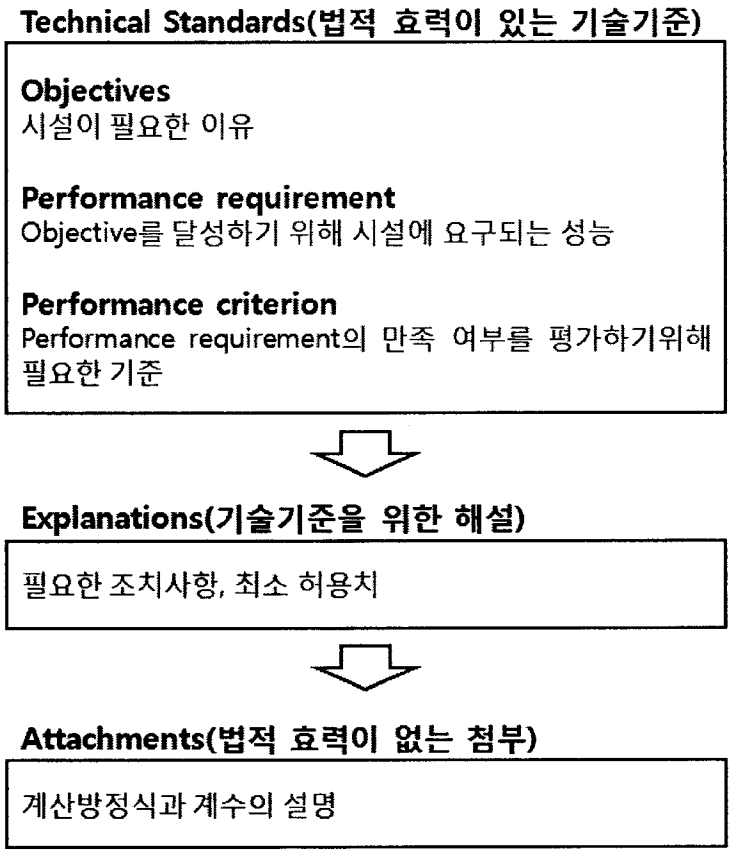


그림 3.36 Performance Criterion 절차 기본 구조

(라) NFPA(National Fire Protection Association, 미국)의 성능기준 개발방법

다음 그림의 성능 중심의 기준 개발 flowchart는 미국 NFPA Performance-Based Support Team (PB Support Team)이 Fire Protection 분야의 기준들을 성능 중심의 기준들로 전환하기 위해 NFPA Performance-Based Primer-Codes & Standards Preparation (1999 Edition)에 제시한 방법이다. 이 방법은 적용분야가 다르긴 하지만 성능기준 개발 절차를 적용하는 일반적인 이론이기 때문에 도로부대시설분야의 성능기준 개발 방법을 고안하는데 참고하는 것이 가능하다고 사료된다.

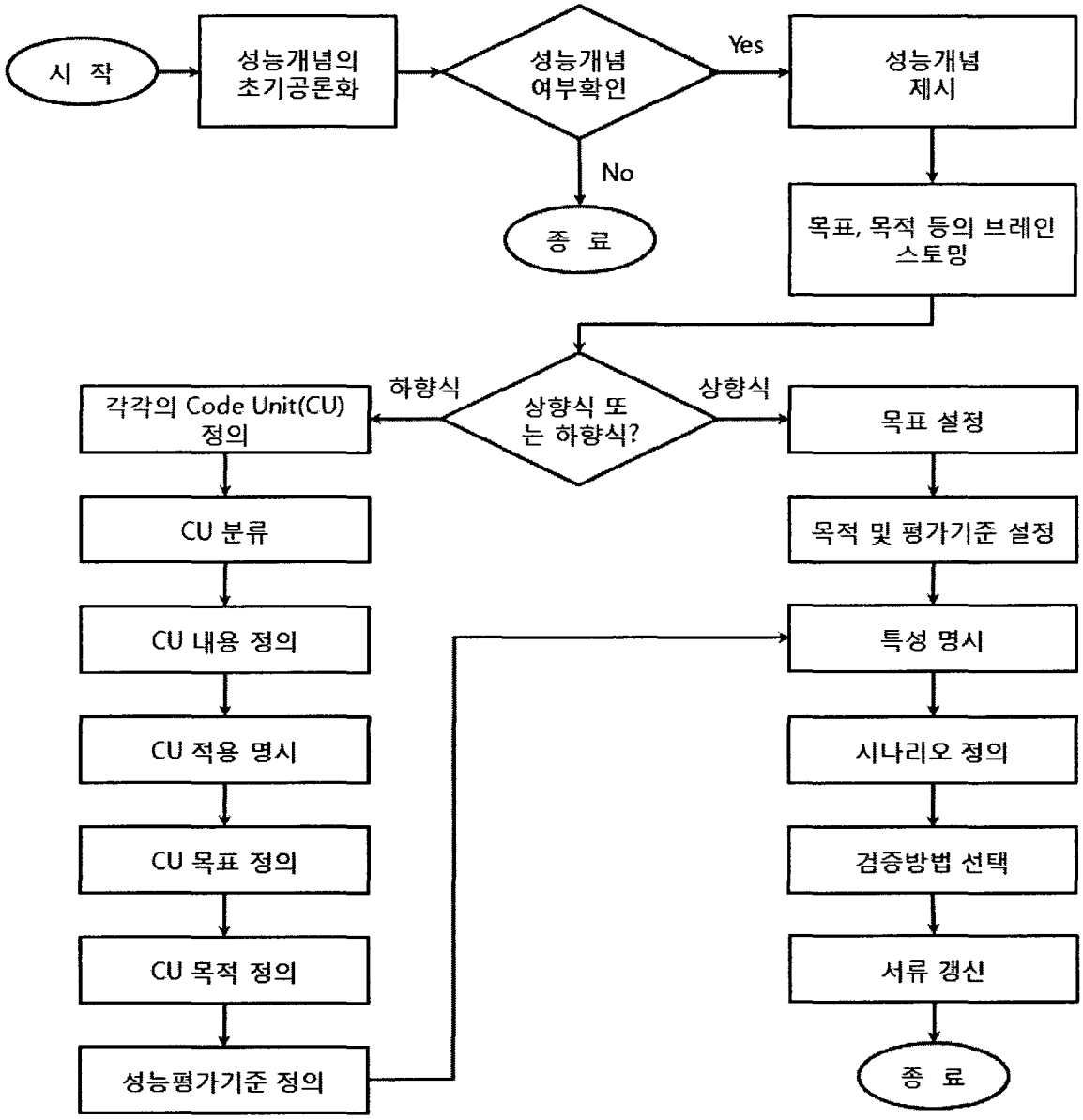


그림 3.37 성능 중심의 기준 개발

이 성능기준 개발 방법은 개발가능성을 가진 현안이 NFPA PB Support Team에게 주어지면 성능기준으로 전환가능한지를 판단한 후에 가능하다면 두 가지 방법 즉, top-down과 bottom-up 방법 중 선택하여 성능기준으로 전환하게 된다. top-down 접근방법은 NFPA 내에서 작성되었고 bottom-up 접근방법은 Canadian Codes Centre에서 발췌하였다. 먼저 top-down 방법이란 성능의 최상위 개념인 목표(Goal)를 정한 후 목표(Objective)와 척도(Criteria) 등의 하위개념을 순차적으로 정립하는 개념이고 bottom-up 방법은 각각의 하위 개념인 Code Unit를 먼저 결정한 후 이 Code Unit들을 등급화한 후에 포함될 의미과 적용을 결정한다. 그리고 상위 개념인 목표(Goal)와 목적(Objective)을 정한다. Code Unit이란 의미와 적용을 표현할 수 있는 법의 가장 작은 부분이다. 각각의 Code Unit은 유형, 의미, 적용 그리고 하나 이상의 목표(Objective)를 갖는 개념이다.

(마) 미국 ICC(International Code Council)의 성능기준 구조

ICC는 사양중심의 국제건축법(IBC, International Building Code) 뿐 아니라 성능중심의 국제건축법도 개발하였다. 이 성능 중심의 국제건축법 구조는 아래 그림과 같다. 목적(Intent), 범위(Scope), 목표(Objectives), 기능(Functional Statements), 성능지표(Performance Requirements)까지 성능 중심의 국제건축법에 포함되고 전체 법률에 대해 총체적으로 설명된다. 국제건축법의 성능기준 구조는 도로부대시설의 성능기준 법 제정시 법 실행의 강제성의 한계를 규정하는데 참고할 수 있을 것이다.

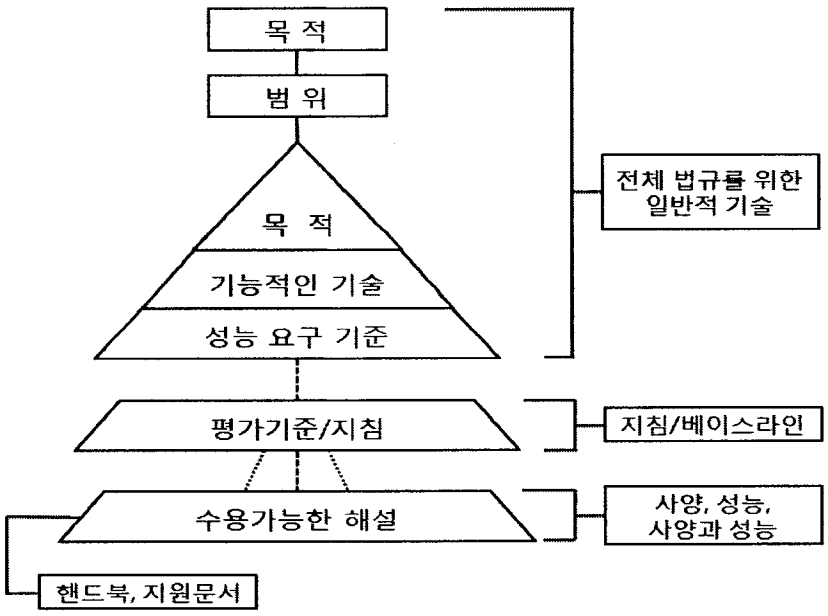


그림 3.38 성능 중심의 국제건축법 구조

(2) 도로부대시설의 성능기준 개발 방법

앞에서 도로부대시설의 성능기준 개발 접근 방법과 개발 방법을 도출하기 위해 조사된 여러 해외 사례들은 국내의 모든 또는 주제별로 범주화된 도로부대시설의 성능기준 개발에 적용 가능한 총체적인 성능기준 작성지침 개발에 많은 도움이 되었다. 이들 해외사례를 참고하여 다음과 같이 국내 도로부대시설의 성능기준을 개발하기 위한 방법을 도출하였다. 이 방법은 주로 미국의 NCHRP Report 350의 도로안전시설물 개발 절차를 참고하였고 일본의 포장분야에 적용되는 성능기준에 관한 개념들을 적용하여 개발하였으며 연구개발단계, 시험단계, 운영단계로 나뉜다. 각 단계별 세부내용은 다음과 같다.

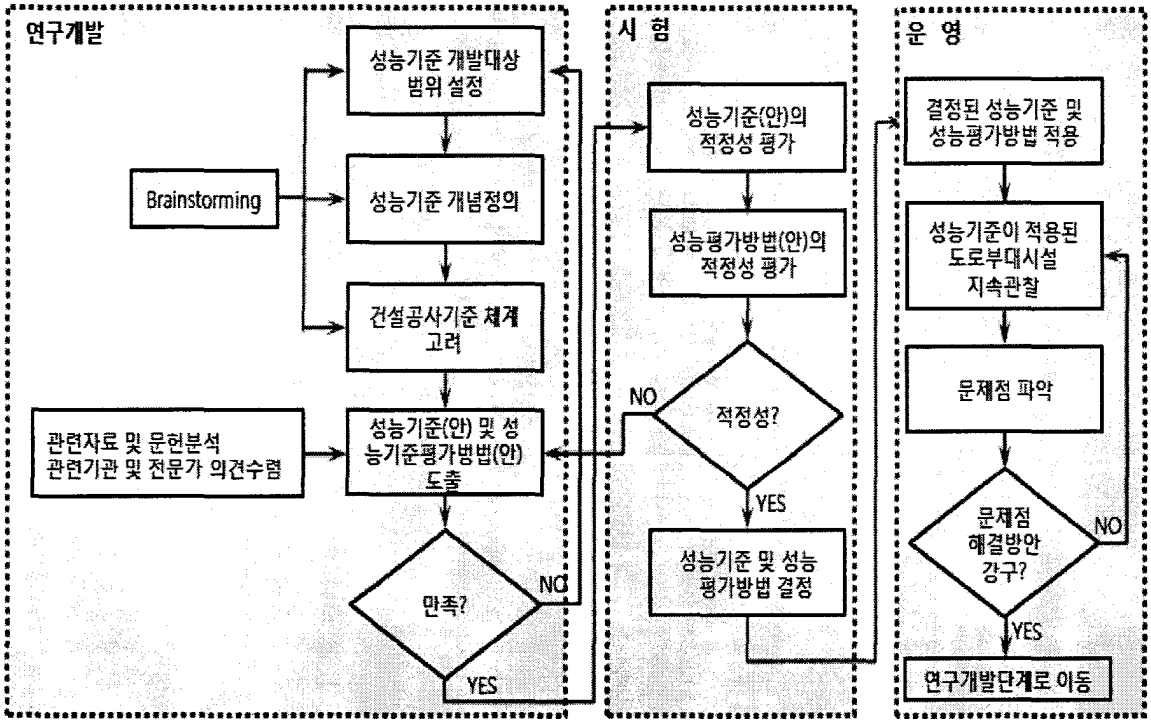


그림 3.39 도로부대시설 성능기준 개발방법

(가) 연구개발단계

첫 번째 단계인 연구개발단계에서는 먼저 도로부대시설의 성능기준을 개발할 범위를 결정한다. 즉 성능기준을 마련할 도로부대시설을 결정하고 그 시설에서 성능기준으로 바꿀 요소를 선정한다. 성능기준은 차량방호안전시설처럼 한 시설물 전체에 적용할 수도 있고 시선유도시설의 반사성능처럼 시설물의 일부분에 적용할 수도

있다. 즉 그 도로부대시설이 설치 및 운영되었을 때 가장 최고의 효과를 발휘할 수 있도록 성능기준을 마련하고자 하는 도로부대시설의 설계방법, 재료 및 절차, 결과물 그리고 성능 중 사양중심 기준 또는 성능중심 기준 적용 부분을 결정한다.

성능기준을 개발할 대상의 범위를 결정하고 나면 성능기준의 개념을 정의한다. 이는 도로부대시설의 포괄적인 성능기준의 개념이 아니라 좀 더 자세한 목표, 목적, 성능지표를 정의하는 것이다. 예를 들어 시인성증진 안전시설의 경우 목표는 안전성, 목적은 시인성 증진 또는 사고율 감소, 성능지표는 반사성능으로 정의할 수 있다. 이 개념들을 정의해야 하는 이유는 이런 일련의 과정들이 크게 보면 도로부대시설의 성능기준 개발 시 방향을 제시하는 역할을 하기 때문이다.

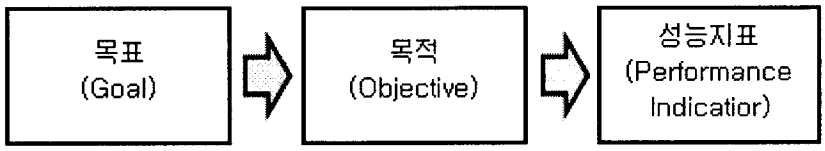


그림 3.40 성능기준 개념 정의 절차

이렇게 정의된 성능기준은 법적 강제성을 규제하고 기준 또는 지침 작성시 포함될 내용의 범위를 규정하기 위해 건설공사기준 체계 중 어느 위치에 포함되어야 할지를 결정한다. 앞에서 언급한 바와 같이 건설공사기준은 설계기준, 시방서와 같은 중앙건설기술 심의대상이 되는 상위 기준과 지침, 요령, 편람, 기술지도서, 표준도 등과 같이 각 학·협회 및 발주기관이 자율 정비하는 하위 기술기준이 있다.

성능기준 개발대상 범위 설정, 개념 정의, 건설공사기준 체계 정립 등 이론적이고 포괄적인 내용들이 결정한 후에는 관련자료 및 문헌분석, 관련기관 및 전문가 의견 수렴 등을 통하여 앞서 설정된 도로부대시설에 대한 성능기준안과 성능기준평가방법을 도출해야 한다. 만족할 만한 성능기준과 평가방법이 도출되면 다음 단계인 시험단계로 넘어간다.

(나) 시험단계

시험단계에서는 연구개발단계에서 도출된 성능기준안과 성능평가방법안의 적정성을 평가한다. 이 단계에 성능기준과 성능평가벙법을 시험하기 위한 실험이 포함될 수 있다. 만약 만족할 만한 결과가 도출되지 못할 경우 다시 연구개발단계에서 관련자료 및 문헌분석, 관련기관 및 전문가 의견 수렴 등을 통하여 성능기준안과

성능기준평가방법을 도출해야 한다. 만족할만한 결과가 도출될 때까지 이 과정은 반복되고 최적의 결과가 도출되면 성능기준 및 성능평가방법을 결정하고 다음 운영단계로 넘어간다.

(다) 운영단계

시험단계에서 결정된 성능기준 및 성능평가방법을 적용하여 설계 및 시공된 도로부대시설을 지속적으로 관찰하여 문제가 발생했을 때 문제점을 파악하고 이 문제점의 해결 방안 강구 여부를 결정하여 해결방안 모색이 결정되면 다시 연구개발단계로 이동하여 기존 성능기준 및 평가방법을 수정 및 보완한다. 여기서 연구개발단계의 어느 단계로 이동할지 여부는 여러 전문가들과 관련기관 종사자들이 모여 브레인스토밍(Brainstorming)과정을 통하여 결정한다. 반면에 문제점 해결 방안 모색에 대해서 부정적인 의견이 도출되면 운영단계의 성능기준이 적용된 도로부대시설의 지속관찰 단계로 이동하여 반복한다.

4. 도로부대시설분야 성능기준 작성지침(안) 개발

도로부대시설의 성능기준 작성 지침을 개발하기 위해 도로부대시설의 범위가 매우 광범위하므로 도로이용자의 안전에 주가 되는 시설들을 앞서 선별하였고 이 시설들의 현재 문제점들에 대해 분석하고 이를 바탕으로 성능기준을 작성하기 위한 지침을 개발하였다. 이 지침은 선정된 도로부대시설들의 성능기준 개발 방향을 제시하는 것이고 실제 성능기준을 개발할 때에는 앞서 언급한 성능기준 개발 방법에 의거하여 성능기준을 마련한다.

성능기준 작성지침을 개발한 시설들은 다음과 같다.

- 차량방호안전시설
- 시선유도시설, 시인성증진시설, 도로표지, 노면표시의 재귀반사체
- 도로반사경
- 도로조명시설
- 시선유도봉(시인성증진시설)
- 미끄럼방지 포장
- 낙석방지시설

가. 차량방호 안전시설

"도로안전시설 설치 및 관리 지침-차량방호안전시설 편"에 따르면 차량방호 안전시설이란 주행 중 진행 방향을 잘못 잡은 차량이 길 밖, 또는 대향차로 등으로 이탈하는 것을 방지하거나 차량이 구조물과의 직접적인 충돌을 방지하여 차량 탑승자 및 차량, 보행자 또는 도로변의 주요 시설을 안전하게 보호하기 위하여 설치하는 시설을 말한다. 차량방호 안전시설로는 노측이나 중앙분리대, 교량 등에 설치하는 방호울타리와 고정 구조물의 전면에 설치하는 충격흡수시설이 있다.

차량방호안전시설의 설치 및 관리 지침은 차량방호 안전시설의 기능, 성능, 설치, 재료, 시공 및 유지관리에 관한 기본적이고 세부적인 사항을 정함으로써, 도로관리자는 차량방호 안전시설의 설치·관리 업무를 적합하게 수행할 수 있도록 하고 도로이용자는 보다 안전하게 도로를 이용할 수 있도록 함을 목적으로 한다.

차량방호 안전시설의 주종을 차지하고 있는 노측용 가드레일이나 중앙분리대 가드레일의 경우 요구성능 만족 여부에 대해 단부를 제외한 본구조물에 대해서만 검증을 하고 있다. 또한 방호울타리의 단부는 방호울타리 설치시 나타나는 부득이한 위험구간이다. 콘크리트 방호울타리의 경우에는 단부 충돌이 발생하면 rigid wall에 정면충돌하는 것 이상의 위험을 야기하기 때문에 단부에 대한 특별한 관리가 필수적이다. 철재 방호울타리의 경우 단부에 날카로운 빔 단면을 처리했다고 볼 수 있지만, 고속 정면충돌의 경우 빔이 마지막 지주로부터 이탈하면서 차량의 샤시를 관통할 위험이 매우 클 수 있다. 그리고 철재 방호울타리의 서로 다른 단면의 연속(콘크리트 중분대와 철재 중분대의 연결지점, 가드레일과 교량난간의 연결지점, 서로 다른 철재 단면의 연속점)에서의 강성의 전이 및 연결방법에 관한 상세내용이 부족하다. 그러나 현재 차량방호 안전시설의 기준 중에 앞서 언급한 지침에 단부처리 및 전이구간에 대한 일반적인 사항만 기술되어 있을 뿐 이 구간에 대한 자세한 성능기준 및 성능평가방법이 언급되어 있지 않다.

미국의 경우 Roadside Design Guide(AASHTO, 2002)에 단부처리 및 전이구간에 대한 상세한 설명 및 공법이 설명되어 있고 이를 평가하기 위한 시험방법 유형별 충격도 값은 NCHRP Report 350에 다음 두 개의 표와 같이 제시되어 있다.

또한 유럽 CEN(European committee for Standardization)의 기준 중 Road

restraint systems - Part 4 : Performance class, impact test acceptance criteria and test methods for terminals and transitions of safety barriers(BS EN 1317-4)에 비록 초안이긴 하지만 차량방호 안전시설의 단부처리와 전이구간에 대한 시험방법 및 성능기준을 제시하고 있다.

따라서 현재 적용하고 있는 도로안전시설 설치 및 관리 지침-차량방호 안전시설과 차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람 등과 함께 운용할 수 있도록 차량방호 안전시설의 단부처리 및 전이구간에 대해 적절한 성능평가 시험방법과 성능기준이 마련되어야 할 것이며 성능기준 작성지침은 다음 그림과 같다.

표 3.53 전이구간에 대한 NCHRP Report 350의 성능기준

Test designation	Nominal IS(kJ)	Suggested IS Tolerance(kJ)	
Test Level 1	9.3	-1.4	+1.5
	7.9	-1.2	+1.3
	34.5	-5.3	+5.7
Test Level 2	18.1	-2.0	+2.1
	15.5	-1.7	+1.8
	67.6	-7.5	+7.9
Test Level 3	37.0	-2.9	+3.0
	31.6	-2.5	+2.6
	138.1	-10.8	+11.3
Test Level 4	37.0	-2.9	+3.0
	31.6	-2.5	+2.6
	138.1	-10.8	+11.6
	132.5	-16.1	+17.1
Test Level 5	37.0	-2.9	+3.0
	31.6	-2.5	+2.6
	138.1	-10.8	+11.3
	596.2	-72.3	+76.9
Test Level 6	37.0	-2.9	+3.0
	31.6	-2.5	+2.6
	138.1	-10.8	+11.3
	596.2	-72.3	+76.9

표 3.54 단부처리에 대한 NCHRP Report 350의 성능기준

Test designation	Nominal IS(kJ)	Suggested IS Tolerance(kJ)	
Test Level 1	79.1	-12.1	+13.1
	67.5	-10.4	+11.2
	192.9	-29.6	+32.1
	5.3	-0.8	+0.9
	4.5	-0.7	+0.8
	22.6	-3.5	+3.8
Test Level 2	154.9	-17.2	+18.2
	132.3	-14.7	+15.5
	377.9	-41.9	+44.4
	10.4	-1.2	+1.2
	8.9	-1.0	+1.0
	44.2	-4.9	+5.2
Test Level 3	316.4	-24.8	+25.8
	270.1	-21.2	+22.0
	771.7	-60.4	+62.9
	21.2	-1.7	+1.7
	18.1	-1.4	+1.5
	90.3	-7.1	+7.4

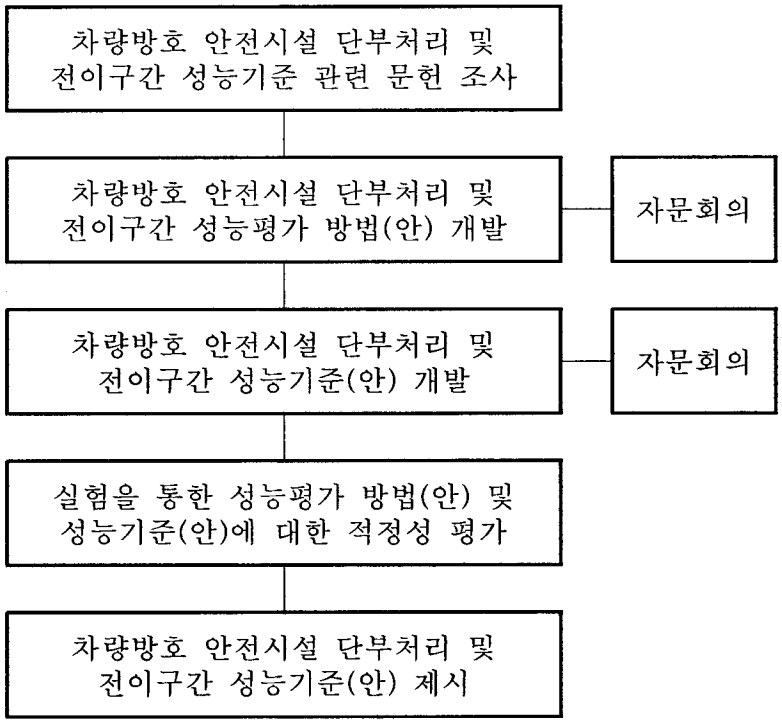


그림 3.41 차량방호 안전시설의 단부처리 및 전이구간 성능기준 작성지침

나. 반사성능의 유지보수 및 교체 성능기준 마련

국내 기준 중에 반사성능의 성능기준을 적용하고 있는 도로부대시설은 노면표시, 도로표지, 시선유도시설(시선유도표지, 갈매기표지, 표지병), 시인성 증진시설(장애물 표적표지, 구조물 도색 및 빗금표지, 시선유도봉) 등이며 이 도로부대시설들의 반사성능은 앞에서 언급하였다. 그러나 이 도로부대시설들의 반사성능은 설치 시의 기준들이고 이 시설물들이 설치되어 유지관리 또는 교체의 필요성이 대두되었을 때 필요한 성능기준들은 노면표시를 제외하고는 아직 수립되어 있지 않다.

따라서 반사성능의 유지보수 및 교체 성능기준 마련을 위해 해외 관련자료를 검색하였고 그 결과 미국의 Texas Dot(Department of Transportation)에서 이와 관련된 내용을 찾을 수 있었다. Texas Dot의 Pavement Marking Handbook에 따르면 노면표시(Marking)의 재도색 시기를 결정하는데 노면표시의 서비스 수명 한계(*end-of-service life*)를 고려하고 이를 평가하기 위한 항목들은 다음과 같다.

- subjective daytime visual evaluation
- subjective nighttime visual evaluation
- retoreflectivity evaluation

그리고 이 항목들에 대해 평가를 한 후 노면표시의 최소 서비스 재귀반사도(retroreflectivity)와 비교하여 재도색 여부를 결정하는 것이다. 그러나 아직 이 최소 서비스 재귀반사도에 대한 명확한 수치는 언급되지 않았고 이에 대해 FHWA(Federal Highway Administration)에서 초안을 개발해 추천하였고 연구는 계속 수행중이다. 또한 이동식 장비(mobile pavement marking retroreflectometers)를 사용하여 노면표시 재료 및 재도색 주기를 최적화하면서 노면표시의 성능 측정을 객관적으로 측정하는 방법을 도입한 포장 노면표시 관리 프로그램을 운영하기 시작했다.

또한 Texas DOT의 Departmental Material Specifications인 DMS-4200 Pavement Markers (Reflectorized)에는 포장 노면표시의 현장 평가 시 평가 방법과 최소 성능기준을 제시하고 있다.

이와 같은 사항들을 고려해 볼 때 국내 반사성능의 유지보수 및 교체 성능 기준을 마련하기 위해 먼저 더 자세한 해외관련 기준과 문헌들을 살펴보고 실험실이 아

닌 현장에서 측정하기 간편한 반사성능기준 측정방법과 최소 반사성능 기준을 수립한다.

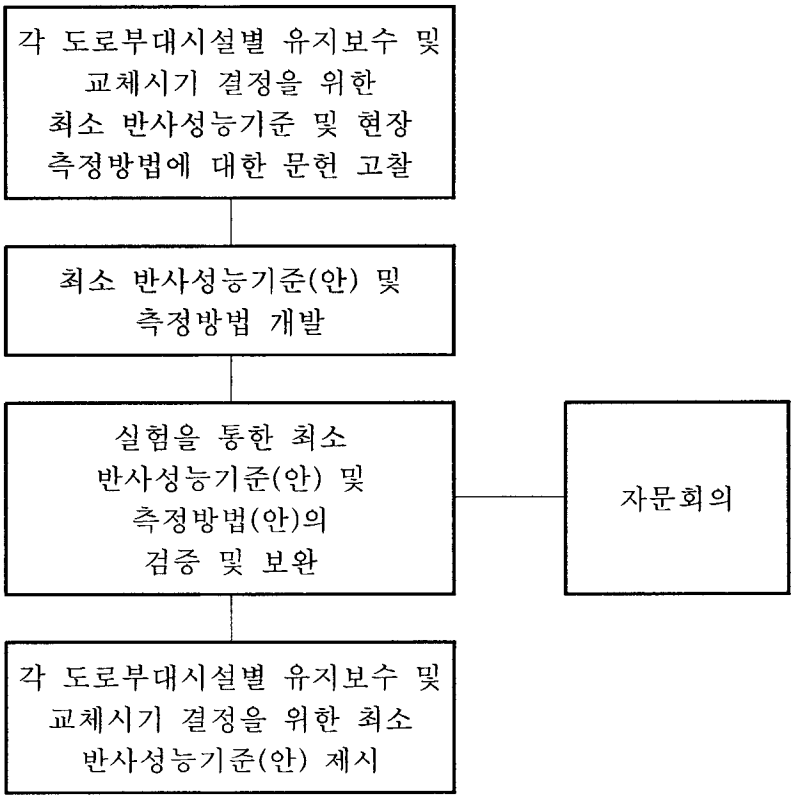


그림 3.42 반사성능의 최소 성능기준 작성지침

다. 도로반사경

도로반사경은 도로의 곡선부나 주행속도에 따른 시거가 확보되지 못한 곳 또는 시거가 확보되지 못한 교차로 등에서 다른 차량이나 보행자 그리고 전방의 도로 상황을 사전에 확인하여 안전한 주행을 유도하기 위해 설치하는 시설을 말한다. 여기서 주행속도에 따른 시거가 확보되지 못한 곳이란 '도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙'에서 규정된 도로의 설계속도별 정지시거가 확보되지 않은 구간을 말한다.

또한 도로반사경은 운전자의 시거 조건이 양호하지 못한 장소에서 시인이 필요한 곳이나 사물을 거울면을 비추어줌으로써 운전자가 적절하게 전방의 상황을 인지하고 안전한 행동을 취할 수 있도록 하여 사고를 미연에 방지토록 해주는 기능을

갖는다.

도로반사경은 거울면의 영상을 통한 간접적인 방법으로 운전자에게 정보를 제공하는 것으로, 필요한 장소에 적절한 수량을 설치해야 한다. 또 도로반사경을 설치하려 할 때에는 다음과 같은 도로반사경 자체의 한계를 충분히 감안해야 한다.

- 거울면에 비치는 사물까지의 거리 판단이 어렵다.
- 인식해야할 차량까지의 거리가 멀어질수록 반사경을 통해 해당 차량의 존재를 인식하기가 어렵다.
- 인식해야 할 차량의 속도가 빠르면 차량 발견시 적절한 조치를 취할만한 충분한 시간적 여유를 확보하기가 힘들다.
- 거울면에 맺히는 영상은 실제 차량 등의 위치와는 다르게 보이기 때문에 운전자가 혼란을 일으킬 수 있다.

일반적으로 도로반사경을 설치하는 장소로는 크게 단일로와 교차로로 구분할 수 있다. 단일로의 경우에는 산지부의 곡선부나 곡선반경이 작은 곳 등에서 도로의 주행속도에 따른 시거가 확보되지 못한 곳에 설치하며, 교차로의 경우에는 교차로 모서리에 장애물이 위치해 있어 운전자의 좌·우 시거가 제한되는 장소에 설치한다. 도로반사경을 잘못 설치할 경우 운전자에게 왜곡된 정보를 제공하여 오히려 사고를 유발시킬 수 있으므로 주의하여 설치해야 한다.

도로반사경은 다음 표와 같이 거울면의 형상에 따라 원형과 사각형으로 구분하며, 지주에 설치된 거울면의 개수에 따라 일면형과 이면형으로 구분한다.

표 3.55 도로반사경의 형식

거울면의 형상	거울면의 수(개)
원형	일면형 이면형
사각형	일면형 이면형

도로안전시설 설치 및 관리 지침-도로반사경 편에는 도로반사경의 설치 장소, 형식 선정, 구조 설치 방법, 재료 및 색상, 시공 및 유지관리에 관한 기본적이고 세부

적인 사항을 체계적으로 규정한 것으로, 도로관리자가 도로반사경을 설치·관리하는 업무를 적합하게 수행할 수 있도록 한 것이다. 이 지침은 해외 기준 중에 도로반사경에 대해 비교적 자세한 내용을 담고 있는 일본의 도로반사경설치지침(일본도로협회, 1980)을 참고로 하여 작성되었다.

도로반사경의 설계 및 시공 시 고려되어야 할 중요한 요소는 도로반사경의 곡률반경, 거울면 크기 등의 제원 뿐 아니라 설치 후 본래의 성능을 발휘하는지를 평가하는 방법이다. 물론 도로부대시설 중 차량방호 안전시설과 같이 시설물의 제작 후 시설물에 대한 성능을 평가하고 평가 받지 않은 동일 시설물 전체에 대해 성능기준을 일반화하는 가정을 통하여 설치하고 설치 후에는 시설물의 특성상 요구성능의 평가가 불가능한 경우도 있지만 도로반사경의 경우 설치 후 도로반사경의 성능 평가시 시설물의 파손이 발생하지 않으므로 설치 후 성능평가가 가능하다. 그러나 현 지침에는 시공 시에 설계의 원칙을 잘 반영하도록 했을 뿐 정확한 성능평가 방법에 대한 언급이 없다.

다음은 현재 도로반사경 설치 및 관리 지침에서 언급되는 도로반사경의 시공지침이다.

도로반사경을 시공할 때에는 시공 중의 교통 안전과 다른 구조물에 미치는 영향에 유의하여 안전하고 정확하게 시공한다. 【설 명】 도로반사경의 시공 장소는 시야가 제약된 교차점이나 곡선부이기 때문에 운전자에게 공사중임을 알리는 정보를 사전에 제공하는 것이 중요하며, 보행자 등의 통행 안전도 배려해야 한다. 또, 설계도와 시방서에 제시된 대로 정확하게 시공해야 할 뿐만 아니라 지하매설물 등 다른 구조물도 배려할 필요가 있다.

또한 도로반사경의 도로안전시설 설치 및 관리지침을 개정하기 위한 연구 수행시 이미 도로반사경의 성능 평가 항목들과 요구성능을 다음과 같이 제시하였다.

표 3.56 도로반사경 성능평가 항목

성능 평가 항목	항목 설명	본 실험에서 적용한 판단기준	비고
시인거리	도로반사경을 통해 보완되는 시인거리	도로 설계속도에 따른 정지시거	정량적 평가
시인 필요범위의 영상포함 능력 (시계)	운전자가 확인할 수 있는 공간적인 범위를 영상에 포함시켜 주는 정도	기 설정된 관측위치에서 도로반사경 거울면 중앙에 도로의 중심선이 위치하는지의 여부 등	정량적 평가
영상의 정확도(영상)	도로반사경에 맺히는 영상의 왜곡되지 않은 정도	관측시 영상의 정확도	정성적 평가

표 3.57 영상의 정확도 판단 기준

평가 등급	판단기준
양호	• 관측위치에서 도로의 중심선의 영상이 도로반사경의 중심에 맺힘 • 도로 내측차선과 외측차선의 영상이 도로반사경 내에 위치함 • 차량의 주행 궤적이 명확히 도로반사경 안에 위치함
보통	• 관측위치에서 도로의 중심선의 영상이 도로반사경의 중심에 근접하여 맺힘 • 차량의 주행 궤적이 명확히 도로반사경 안에 위치함
불량	• 관측위치에서 도로의 중심선의 영상이 도로반사경의 중심선에서 벗어남 • 차량의 궤적이 완전하게 표출되지 않고 상의 가림이 발생함

앞서 살펴본 바와 같이 도로안전시설의 특성 상 도로반사경의 설치 후 성능평가가 필요하다고 판단되며 또한 기존 연구에서 도로반사경의 성능기준 작성이 가능하다는 것을 알게 되었으므로 다음과 같이 도로반사경 성능기준 작성지침을 제시하였

다.

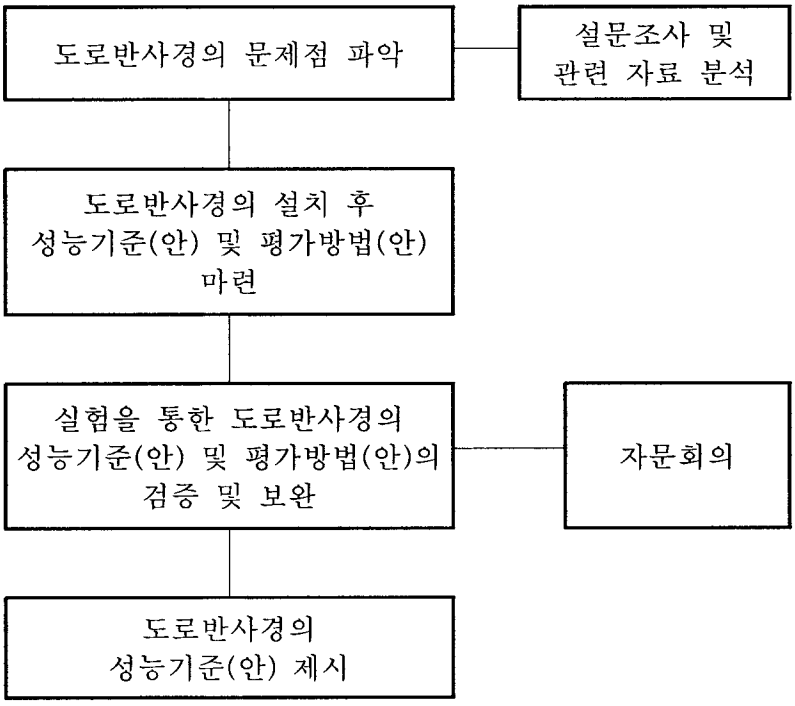


그림 3.43 도로반사경의 성능기준 작성지침

라. 도로조명시설

도로의 야간 이용자들에게 적절한 조명환경을 제공해 주기 위한 도로조명 설비의 기준은 자국의 경제사정, 인구 밀도와 교통 혼잡도, 통행 규모 등의 여러 요소들을 고려하여 개별 국가마다 조금씩 다르게 채택하여 사용하고 있는 실정이다.

현재 우리나라의 조명시설 설치 기준은 1999. 9에 제정된 '도로안전시설 설치 및 관리 지침'의 '조명시설 편'에서 다루고 있다. 지침에서 도로 조명시설은 크게 연속조명, 국부 조명, 터널 조명으로 나누어지고 있는데 연속 조명시설의 경우 KS 도로조명 기준(KS A 3701-1991)을 따르고 있다. KS 도로조명 기준은 측광(測光)과 측색(測色)에 관해 국제적 결정을 하는 기관인 국제조명위원회(Commission Internationale de l'Eclairage, CIE, 오스트리아)의 규격을 토대로 하고 있으며 일본의 JIS 규격(JIS Z 9111-1998)과는 동일하다.

최근 CIE의 권고안들은 도로조명의 목적에 부합하도록 조명기준의 유지와 조명 품질에 근간을 두고 있으나, 나라마다 경제력이나 교통 상황이 크게 다르기 때문에 지침을 정하기가 어려운 측면이 있다.

(1) 국내의 도로조명 기준

국내의 도로조명 관련 기준은 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」(건설교통부, 1999)에서 도로를 분류하였으며, 한국산업규격(KS A 3701 도로조명기준)에서의 도로 및 교통 분류 항목을 도로관리자로 하여금 쉽게 이해할 수 있도록 제시하였다.

표 3.58 KS규격(KS A 3701-1991) 운전자에 대한 도로 조명의 기준

도로의 종류	교통의 종류와 자동차 교통량	평균 노면휘도 $L_r(Cd/m^2)$	종합 균제도 U_0	차선축 균제도 Ul_l	눈부심 조절마크 G
상하행선이 분리되고 교차부는 모두 입체교차로로서, 출입이 완전히 제한되어 있는 도로	주로 야간의 자동차 교통량이 많은 고속자동차 교통	2	0.4	0.7	6
자동차 교통전용의 중요한 도로. 대부분의 경우 속도가 느린 교통용으로 독립된 차선, 보행자용의 도로 등을 수반한다. 중요한 도시부 및 지방부의 일반도로		2	0.4	0.7	5
	주로 야간의 자동차 교통량이 많은 중속 자동차 교통 또는 자동차교통량이 많은 중속의 혼합교통	2	0.4	0.5	5
시가지 혹은 상점가 내의 도로 또는 관청가로 통하는 도로. 여기서는 자동차 교통은 교통량이 많은 저속교통, 보행자 교통 등과 혼합되어 있다.	주로 야간의 교통량이 매우 많고 그 대부분이 저속교통 또는 보행자인 혼합교통	2	0.4	0.5	4
주택지역과 이 도로를 연결하는 도로	비교적 느린 제한속도와 주로 야간, 중정도의 교통량이 있는 혼합교통	1	0.4	0.5	4

주) (1) 도로 주변의 조명환경이 어두운 경우에는 L_r의 값을 1/2로 하여도 좋다.

(2) 도로 주변의 조명환경이 어두운 경우에는 G의 값을 1증가시키는 것이 바람직하다.

(3) 교통량이 적은 경우에는 L_r의 값을 1/2로 하여도 좋다. 다만, 위의 규정에 관계없이 L_r의 값을 0.5Cd/m^2 미만으로는 할 수 없다.

표 3.59 운전자에 대한 조명 기준(도로안전시설 설치 및 관리 지침)

항 목 / 도로 분류	평균노면휘도 L_r(Cd/m^2)		종합 균제도 U_0	차선축 균제도 U_l
	외부조건 A	외부조건 B		
고속도로	2.0	1.0	0.4	0.7
주간선도로	2.0	1.0	0.4	0.7
보조간선도로	2.0	1.0	0.4	0.5
집산 및 국지도로	1.0	0.5	0.4	0.5

주) (1) 외부조건 A : 도로변의 조명환경이 밝은 경우

외부조건 B : 도로변의 조명환경이 어두운 경우

(2) 교통량이 적은 경우에는 외부조건이 A 일지라도 L의 값을 최소한 0.5~1.0 Cd/m^2로 낮추어 적용할 수 있다.

표 3.60 KS규격(KS A 3701-1991) 보행자에 대한 도로 조명의 기준

야간의 보행자 교통량	지 역	조 도(lx)	
		수평면 조도	연직면 조도
교통량이 많은 도로	주택 지역	5	1
	상업 지역	20	4
교통량이 적은 도로	주택 지역	3	0.5
	상업 지역	10	2

주) (1) 수평면 조도는 보도 노면상의 평균 조도

(2) 연직면 조도는 보도의 중심선 상에서 노면으로부터 1.5m 높이의 도로축과 직각인 연직면상의 최소 조도

(2) 해외 도로조명 기준의 비교

도로조명설비의 기준은 자국의 경제사정, 인구밀도와 교통 혼잡도, 통행 규모 등의 여러 요소들을 고려하여 개별 국가마다 조금씩 다르게 채택하여 사용하고 있는 실정이며 특징은 다음과 같다.

표 3.61 각국의 도로조명 기준 특징

각국의 기준	도로조명 기준의 특징
CIE	• 도로의 복잡성(교통량, 차선수, 경사도, 시각환경 등)에 따라 조명 등급을 달리하고 있음 • 분리대가 있는 고속국도의 경우, 교통량과 도로시설의 복잡성에 따라 M1, M2, M3로 구분되고, 이에 따른 평균 노면휘도의 기준은 2.0~1.0(cd/m^2)에 해당됨. • 교외지역과 연결되는 도로나 주거지역과 근접한 도로는 M4, M5로 구분되고, 이에 따른 노면휘도의 기준은 0.75~0.5(cd/m^2)에 해당됨. • EU, JIS, KS 등이 CIE 규격을 토대로 하고 있음.
미국	• CIE의 기준에 비해 약 1.5~2배 정도 낮음. 이는 도로 여건(광활한 지역, 넓은 차도폭, 처선수, 속도제한 등)이 다르기 때문으로 생각됨. • CIE나 KS에 없는 포장도로 등급(R1~R4)에 따른 조도 기준이 정해져 있음. • 포장도로 등급별로 Scaling Factor Q_0를 적용하여 조도 기준을 정하였음.
일본	• 일본 JIS 규격(JIS Z 9111-1998)은 KS 규격 (KS A 3701-1991)과 동일함. • 실제 설치할 때는 일본도로공단이 별도로 적용하는 '도로조명시설 설치기준'을 사용함. • 도로의 외부조건(건물의 조명, 네온사인 등 도로교통에 영향을 미치는 빛의 존재 정도)에 따라 3단계로 분류되고 노면의 기준 휘도는 0.5~1.0(cd/m^2)에 해당함.
한국	• 현행 KS 도로조명 기준(KS A 3701-1991)은 CIE 규격을 기준으로

	하고 있음. • 미국이나 일본에 비해 평균노면휘도 기준이 높은 편임. • 도로의 종류와 교통량 등에 따른 차등 없이 일률적으로 평균노면휘도 값을 적용함 • 미국과 같은 조도기준이 정해져 있지 않음.

(3) 도로조명시설에 대한 성능중심 작성지침

도로조명표준기술연구회는 국내외 도로조명 관련 문헌 조사 및 분석, 국내 도로조명 현황 측정 및 분석 등의 연구결과를 바탕으로 국내 실정에 적합한 새로운 조명기준을 담은 KS 도로 조명 기준을 이르면 올해 말까지 개정할 예정이다.

현재까지의 연구내용을 살펴보면 다음과 같다.

(가) 도로 및 교통의 종류에 따른 조명등급 분류

도로의 종류를 다섯 가지 조명등급(M1~M5)으로 분류하여 별도로 구분함으로써 체계를 단순, 명료화 시켰으며, 기존의 KS 규격에서 2원화 되어있던 고속의 자동차 전용 교통을 M1등급으로 통합하고, M5항목을 새롭게 추가시켰다.

표 3.62 도로 및 교통의 종류에 따른 조명등급 분류(안)

도로의 종류	교통의 종류와 자동차 교통량	조명등급
상하행선이 분리되고 교차부는 모두 입체교차로로서, 출입이 완전히 제한되어 있는 고속도로. 상하행선이 분리되고 보행자 출입이 완전히 제한되어 있는 자동차 교통전용의 고속화도로 및 순환도로	주로 야간의 자동차 교통량이 많은 고속의 자동차 전용교통	M1
자동차 교통전용의 중요한 도로. 대부분의 경우 중속 정도의 교통용으로 독립된 차선, 보행자용의 도로 등을 수반한다. 중요한 도시부 및 지방부의 일반도로	주로 야간의 자동차 교통량이 많은 중속 자동차 교통 또는 자동차 교통량이 많은 중속의 혼합교통	M2
시가지 혹은 상점가 내의 도로 또는 관청가로 통하는 도로. 여기서는 자동	주로 야간의 교통량이 매우 많고 그 대부분이 저속교통 또는	M3

차 교통은 교통량이 많은 중속교통, 보행자 교통 등과 혼합되어 있다.	보행자인 혼합교통	
도시의 주택지역과 이 도로를 연결하는 도로	비교적 느린 제한속도와 주로 야간에 중정도의 교통량이 있는 혼합교통	M4
교외지역과 이 도로를 연결하는 도로	비교적 느린 제한속도와 주로 야간의 교통량이 중이하인 혼합교통	M5

(나) 도로의 조명등급에 따른 노면휘도의 기준

- 새로운 노면휘도 기준의 특징

a. 도로의 종류를 다섯 가지 조명등급으로 변경

b. 현 KS 규격에 규정되어 있는 눈부심 조절마크 G를 빼고, 비슷한 개념의 TI(Threshold Increment)를 추가시켰다.

c. 균제도 항목에 정의 수식을 추가시켜 적용의 오류를 막고 편리를 더했다.

d. 각 항목에 규정허용치(최소/최대 허용치) 조항을 추가시켰다.

e. 평균노면휘도 L_r을 평균치를 나타내는 L_{avg}로 첨자 변경을 하였다.

표 3.63 도로의 조명등급에 따른 노면휘도의 기준(안)

조명등급	평균노면휘도 (최소허용치) $L_{avg}(cd/m^2)$	휘도균제도(최소허용치)		TI(%) (최대허용치)
		종합균제도(U_0) L_{min}/L_{avg}	차선축균제도(U_l) L_{min}/L_{avg}	
M1	2.0	0.4	0.7	10
M2	1.5	0.4	0.7	10
M3	1.0	0.4	0.5	10
M4	0.75	0.4	0.5	15
M5	0.5	0.4	NR	15

주) (1) NR is no requirement

(다) 도로의 조명등급에 따른 노면조도의 기준(신설)

- 새로운 노면조도 기준의 특징

a. 현 KS규격에 규정되어 있지 않은 조도기준을 새로 제정함으로써 실무적인 적용이 용이해졌다.

b. 조명등급 및 포장도로 등급(R1~R4)에 따라 기준 조도를 차등 적용하였다.

c. 포장도로 등급별 평균노면조도(E_{avg})는 신규 평균노면휘도에 CIE에서 규정하고 미국 등에서 조도기준을 정하는데 사용하고 있는 Scaling Factor의 역수인 환산계수를 적용하였다.

표 3.64 도로의 표면과 반사특성(안)

노면등급	환산계수	도로 표면의 특성
R1	1/0.1	시멘트 콘크리트 도로, 대부분 확산
R2	1/0.07	자갈을 최소 60% 함유한 골재를 사용한 아스팔트 도로, 확산 및 반사
R3	1/0.07	어두운 색의 골재를 사용한 아스팔트 도로, 약간 반사
R4	1/0.08	표면이 매우 부드러운 느낌을 갖는 아스팔트 도로, 대부분 반사

표 3.65 도로의 조명등급에 따른 노면조도의 기준(안)

조명등급	포장도로 등급별 평균노면조도(최소허용치) E_{avg}(lx)			종합조도균제도 (E_0) E_{min}/E_{avg} (최소허용치)
	R1	R2 & R3	R4	
M1	20.0	29.0	25.0	0.4
M2	15.0	22.0	19.0	0.4
M3	10.0	14.0	13.0	0.4
M4	8.0	11.0	9.0	0.4
M5	5.0	7.0	6.0	0.4

주) (1) Footcandle 단위로의 근사치 변환을 위해서는 평균 조도값에 0.1을 곱함.

현재 도로 조명시설의 설치 기준은 1991년도에 만들어진 한국공업규격(KS)을 바탕으로 1999년에 '도로안전시설 설치 및 관리지침'의 조명시설편으로 제정되었으며 지금까지 개정작업이 이루어 지지 않고 있다. 따라서 현재의 지침은 각종 연구 자

료와 선진외국의 기준들을 반영하지 못하고 있는 실정이다. 이는 곧 신기술 및 신공법에 적절하게 대처하지 못함을 의미하며 제조업체 측면에서도 혼돈을 야기할 수 있다. 따라서 표준화 단계에서 현 기준의 문제점을 파악하고 해외 도로조명 관련 성능기준 및 새로 바뀔 예정인 한국공업규격(KS)을 국내 도로 환경에 적절하게 적용하여 성능기준(안)을 제시한다. 또한 도로조명시설의 성능기준과 함께 현장 조명시설 성능평가 방법기준 뿐 아니라 도로조명시설 역시 유지보수 및 교체 성능기준이 필요한 실정이다.

개략적인 진행방향은 다음의 흐름도와 같다.

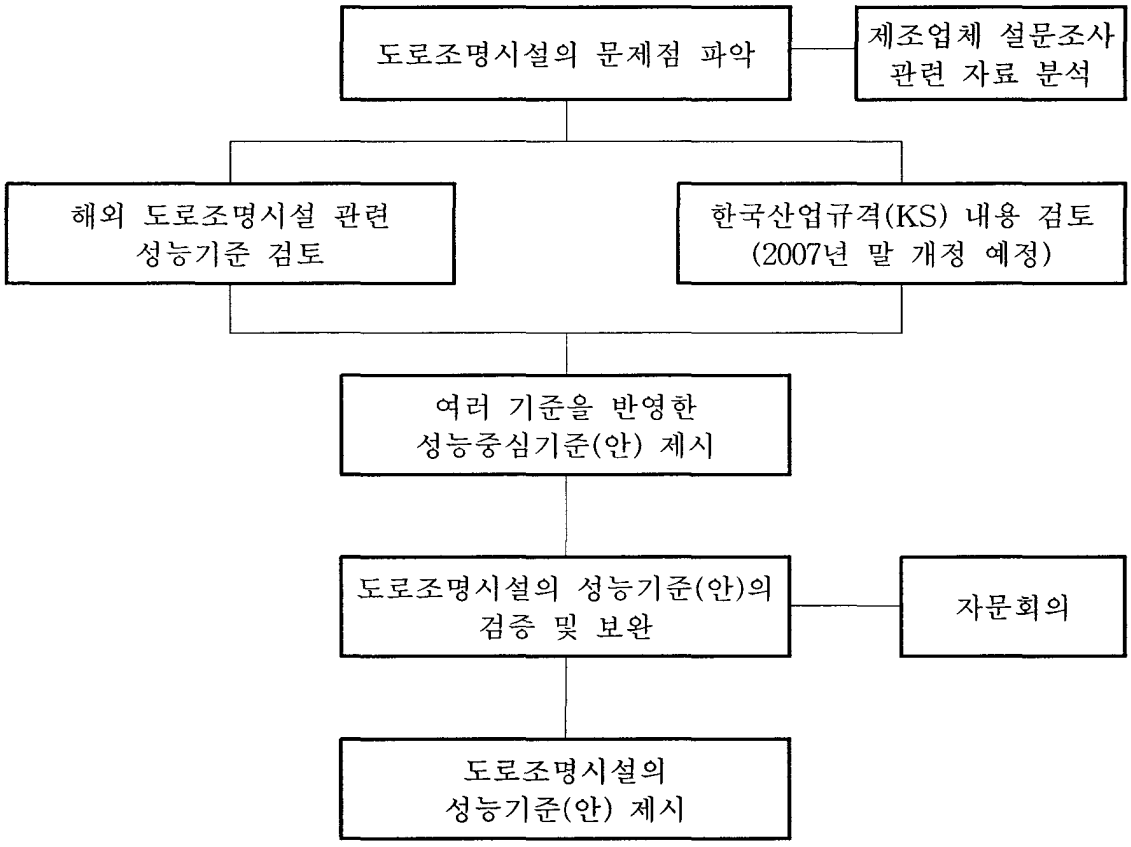


그림 3.44 도로조명시설의 성능기준 작성지침

마. 시선유도봉(시인성증진 안전시설)

시인성 향상을 위한 시설이란 방호울타리, 충격흡수시설 등과 같이 차량의 도로

밖 이탈이나 콘크리트 구조물과의 직접적인 충돌을 물리적으로 막기 위해 설치하는 시설이 아니라, 이들 차량방호 안전시설과 함께 설치함으로써 구조물과 직접적인 충돌을 사전에 예방하고 차량을 주행 차로로 안전하게 유도하는 기능을 가지는 시설을 말한다.

일반적으로 중앙분리대용 방호울타리, 지하차도 입구부의 기둥, 교각 및 교대 등과 같은 물리적인 구조물은 차량이 직접적으로 충돌했을 때 차량 탑승자에게 미치는 상해 정도가 매우 심각하기 때문에, 차량과 구조물의 충돌기회를 최소화시키기 위한 노력이 필요하다. 이는 교통사고로 인한 사회·경제적 손실뿐만 아니라 인적·물적 손실을 최소화시키기 위해 반드시 필요한 것으로, 도로상의 각종 안전시설들이 제 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 설치·관리되어야 한다.

이런 점에서 볼 때, 시인성 향상을 위한 시설들은 도로상에 위치해 있는 각종 구조물로부터 차량을 안전하게 유도하여 교통사고 발생을 최소화시키고, 운전자에게 양호한 주행환경을 제공하는 기능을 가지므로, 이들 시설의 적절한 설치는 도로교통사고로 인한 손실을 줄이는데 효과적이라 할 수 있다.

시인성 향상을 위한 시설의 주요 기능은 다음과 같다.

- 운전자에게 위험 요소에 관한 정보 제공
- 구조물과의 충돌을 미연에 방지하고 차량을 안전하게 유도
- 안전한 주행환경 조성

시인성증진 안전시설의 종류는 장애물 표적표지, 구조물 도색 및 빗금표지, 시선유도봉 등이다. 시선유도봉은 교통사고의 발생의 위험이 높은 곳으로서, 운전자의 주의가 현저히 요구되는 장소에 노면표시를 보조하여 동일 및 반대방향 교통류를 공간적으로 분리하고 위험구간 예고 목적으로 시선을 유도하는 시설을 말한다. 시선유도봉의 설치 및 관리지침에는 시선유도봉의 도로설계속도에 따른 형상 종류, 재질, 색상, 설치 위치 및 설치간격, 시공, 유지관리 등이 제시되어 있다.

시선유도봉은 반사지를 부착해야 하며 시선유도봉의 반사체의 반사성능은 다음과 같다.

표 3.66 시선유도봉 반사체의 반사성능

(단위 : cd/lx · m^2)

관찰각(°)	입사각(°)	흰 색
0.2	-4	250
0.2	+30	150
0.5	-4	95
0.5	+30	65

현재 시선유도봉은 일부 재료인 반사지의 명확한 성능기준과 성능평가방법을 적용되고 있지만 시선유도봉의 재질 또한 사양기준이 아닌 포괄적인 성능기준으로 되어있다. 시선유도봉의 재질 기준을 살펴보면 다음과 같다.

시선유도봉의 재질은 다음 조건을 만족해야 한다.

- 시선유도봉의 몸체는 타이어에 눌려 부러지지 않는 재료 및 구조이어야 한다.
- 재료는 상온에서 변형이 없어야 하고 내구성이 뛰어나야 하며, 유지관리가 용이하고 충돌 시 차량에 충격을 가하지 않도록 충분한 연성을 가져야 한다.
- 반사지는 외부 충격에 쉽게 떨어지거나 파손되지 않아야 한다.

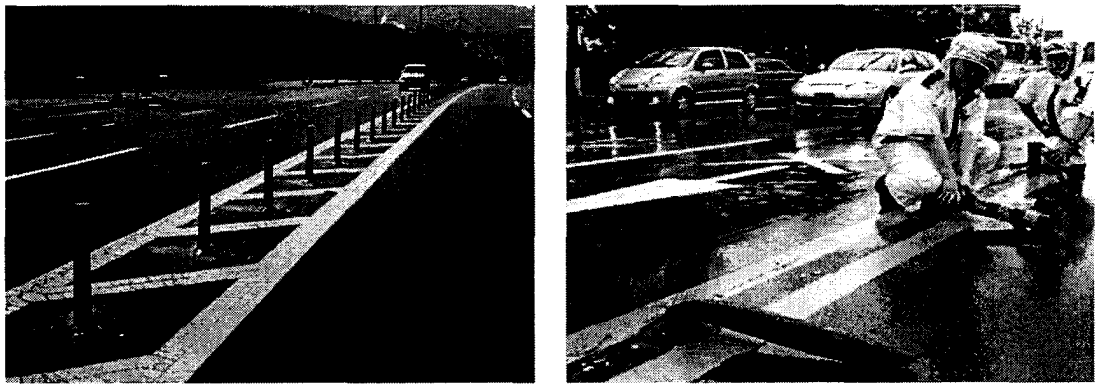


그림 3.45 시선유도봉의 설치 및 파손 예시

시선유도봉은 받침대, 몸체, 재귀반사체로 구성되어 있으므로 위에서 시선유도봉의 재질에 대한 기준은 사실상 시선유도봉 자체에 대한 성능기준으로 볼 수 있다. 그러나 현재 지침에 이 시선유도봉 재질의 성능기준을 평가할 수 있는 방법과 요구성능은 제시되어 있지 않다. 따라서 이 시선유도봉의 포괄적인 성능기준에 대해 도

로부대시설 성능기준 개발 절차에 따라 세부적인 성능기준과 이 성능기준을 평가할 수 있는 방법을 개발한다면 시선유도봉의 성능을 더 잘 발현시킬 수 있을 뿐 아니라 시선유도봉의 파손을 줄여 경제적인 손실도 절감 가능할 것이다.

바. 미끄럼방지포장

미끄럼방지포장이란 노면의 미끄럼 저항이 낮아진 곳, 도로의 평면 및 종단선형이 불량한 곳 등에서 포장면의 미끄럼 저항력을 높여주어 자동차의 제동거리를 짧게 하기 위한 목적으로 설치되는 시설로서 운전자의 주의를 환기시켜 안전 운행을 도모하는 부수적인 기능도 가지고 있다.

미끄럼방지포장은 표면에 신재료를 추가하는 방식과 표면의 재료를 제거하는 형식의 두 가지 형식이 있으며 신재료를 추가하는 방식에는 개립도 마찰층, 슬러리실, 수지계 표면처리가 있으며 표면의 재료를 제거하는 형식에는 그루빙, 숏블라스팅, 노면 평삭의 방법이 있다.

(1) 미끄럼방지포장 설치의 국내기준

현재 국내의 미끄럼방지포장 관련 기준은 1997년도에 발간된 도로안전시설 설치 및 관리지침의 미끄럼방지포장편에서 다루고 있다.

(가) 미끄럼방지포장의 종류

표 3.67 미끄럼방지포장의 종류

구 분	아스팔트 콘크리트 포장	시멘트 콘크리트 포장
추천하는 형식	• 개립도 마찰층 • 슬러리실 • 노면 평삭 • 수지계 표면처리	• 그루빙 • 숏 블라스팅 • 노면 평삭

(나) 미끄럼방지포장의 설치장소

미끄럼방지포장은 도로의 구간별로 다음과 같은 도로 조건 및 교통 조건에서 미끄럼 마찰 증진이 요구되거나, 사고 발생 위험으로 필요하다고 인정되는 구간에 설치한다.

① 기존의 노면 마찰계수가 도로교통 조건에 부합하지 않고 낮아서 위험한 구간으로 다음의 최소 마찰계수 기준표를 따른다.

표 3.68 최소 마찰계수 기준표

구분	정의	최소 마찰계수			마찰계수의 종류
		위험도 1	위험도 2	위험도 3	
S1 (마찰력 확보가 매우 중요한 구간)	1) 설계속도 60km/시 이상의 교통 신호 또는 횡단보도 접근부 2) 도시지역 도로의 교통 신호, 횡단보도 또는 비슷한 위험 개소의 접근부 3) 5% 이상의 내리막 구배에 주행속도에 대한 곡선 반경이 "도로의 구조·시설 기준에 관한 규정"에서 정한 값 보다 작게 설계된 곳 4) 고속도로로서 S2의 1), 2)항에 해당하는 구간	57 37	67 44	77 50	BPN SN
S2 (마찰력 확보가 중요한 구간)	1) 설계속도 60km/시 이상이 되는 도로로서 곡선 반경이 "도로의 구조·시설 기준에 관한 규정"에서 정한 값 보다 작게 설계된 곳 2) 5% 이상의 내리막 구배가 100m 이상인 곳 3) 고속도로 일반구간 4) 상업용 차량 교통량이 250대/차로/일 이상인 도로의 주요 교차로(major junctions) 접근부	47 31	57 37	67 44	BPN SN
S3 (평균 조건)	직선 또는 곡선 반경이 큰 구간으로서 다음에 해당되는 도로 1) 주요 간선도로 또는 자동차 전용도로 2) 상업용 차량 교통량이 250대/차로/일 이상인 일반도로	32 21	47 31	57 37	BPN SN
S4 (마찰력이 중요하지 않은 구간)	교통량이 적은 도로의 일반 직선 구간	32 21	42 27	47 31	BPN SN

② 도로선형의 연속성이 좋지 않은 구간

연속되는 전·후 평면선형의 크기가 일정 범위로 조화되지 않을 경우에는 주행

속도의 차이가 크게 되고, 이로 인하여 교통사고가 일어나기 쉽다. 그러므로 연속되는 도로의 전·후 구간에서 주행속도가 20km/시 이상인 구간의 변화구간에 미끄럼방지포장을 설치한다.

③ 기타 사고 발생 위험이 높을 것으로 예상되는 구간

a. 선형이 양호한 직선구간 사이에 위치한 급곡선 구간

b. 종단구배가 급한 내리막길에 위치한 곡선 등의 굴곡도로

c. 곡선부와 낭떠러지가 복합된 선형 불량 구간

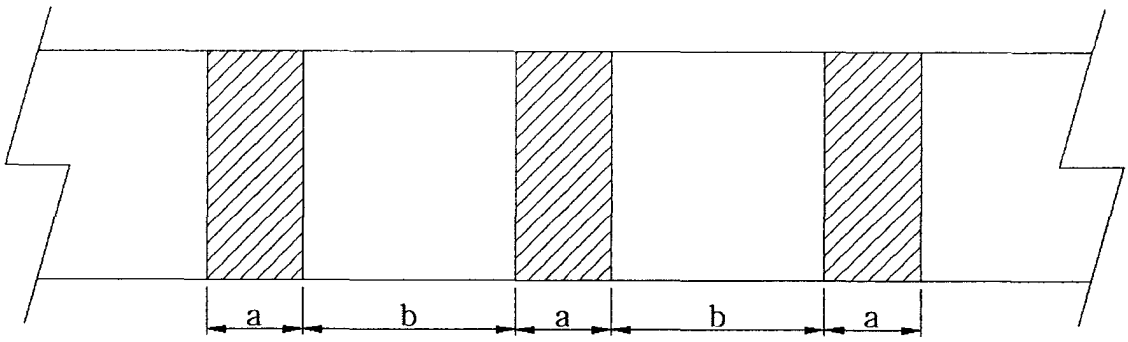
d. 배수시설 불량으로 강우시 마찰력이 크게 감소하는 지점

e. 철도 건널목 진입부의 선형 불량으로 사고 위험이 많은 지점

(다) 구조

미끄럼방지포장의 설치 형상은 미끄럼 저항 증진이 필요한 설치 대상 전체 구간에 미끄럼방지포장을 설치하는 전면처리와 미끄럼방지포장을 띠 모양으로 일정 간격씩 띄워 설치하는 이격식 처리가 있다.

이격식 처리에는 1-3 방식과 3-6 방식이 있다. 1-3 방식이란 1m 시공, 3m 띄우기가 반복되는 것을 말하고 3-6 방식이란 3m 시공, 6m 띄우기가 반복되는 것을 말한다.



형 식	a(설치 폭)	b(띄움 폭)
1-3 방식	1m	3m
3-6 방식	3m	6m

그림 3.46 이격식 미끄럼방지포장의 설치 형상(1-3, 3-6 방식)

(라) 유지관리

미끄럼방지포장이 기능을 충분히 발휘하도록 일상 점검과 보수를 하여야 한다. 도로에 설치된 미끄럼방지포장이 손상을 입거나 미비한 상태로 방치될 때는 그 역할을 충실히 수행하지 못하여 교통사고의 원인이 될 수 있다. 도로 시설을 양호하게 유지하는 것이 사회적인 책임이 되고 있으므로, 도로 관리자는 항상 미끄럼방지포장이 충분한 기능을 발휘할 수 있도록 상시 유지 관리 및 보수에 유의하여야 한다.

(2) 미끄럼방지포장 설치의 해외기준

(가) 미국 및 캐나다

미국 56개 도로 관리 기관 중 53개 기관이 마찰력 관리 프로그램을 운영하고 있으며 이들 56개 기관에서는 다양한 마찰력 조사 방법을 사용하고 있다.

미끄럼방지 대책을 필요로 하는 마찰계수(SN)값도 기관별로 약간 차이가 있으나 대체로 30~40사이의 값들을 채택하고 있다.

미국에서 가장 많이 채택되고 있는 미끄럼방지 대책으로는 개립도 마모층(OGFC : Open Graded Friction Course)이나 박층 덧씌우기 또는 실코팅을 들 수 있으며, 콘크리트 포장의 경우 그루빙(grooving)도 많이 사용하고 있다. 이 중 OGFC는 아스팔트포장의 미끄럼방지 대책으로 큰 관심을 끌고 있다.

표 3.69 캐나다의 미끄럼 마찰계수 관리기준

정의	종미끄럼마찰계수	비고
경고수준	0.4	SN 65
조치수준	0.3	SN 65

(나) 영국의 최소 마찰 기준

영국은 일찍이 1967년에 C.G.Giles가 제안한 교통 안전을 위한 최소 마찰 기준치를 적용해왔다. Giles는 SFC 50(Side Friction Coefficient at 50km/시)이 0.6이상일 경우는 사고 가능성이 매우 낮으나 SFC 50이 0.55~0.60 사이에서는 어느 정도 증

가하기 시작하고, 0.40~0.45 사이에서 사고 가능성은 20배 이상, 0.30~0.35에서 300배 정도로 증가함을 보여주었다. 그는 이 결과를 토대로 도로 조건에 따라 최소 마찰ㄹ계수 기준치로 도로 환경이 나쁜 경우 0.6, 보통인 경우 0.5, 그리고 좋은 경우 0.4를 각각 제안하였다.

이 값들은 영국 교통부로부터 받아들여져 1970년에 도로 조건에 따른 최소 마찰계수 기준표가 제시되었으며 이는 도로 조건뿐만 아니라 교통사고 자료, 직선 구간의 길이, 구배 정도, 배수 조건, 그늘 등 실제 사고 위험 요소들을 고려한 위험도에 따라 다음 표와 같이 세분화 되었으며 현재 우리나라의 기준에 준용되어 사용되어지고 있다.

표 3.70 영국의 최소 마찰계수 기준표

장소	정의	횡미끄럼 마찰계수(50km/시에서)									
		위 험 도									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_1 (아주 심한 조건)	(1) 제한속도 64km/시 이상의 도로의 교통신호 접근부 (2) 주요 도시지역 도로의 교통신호, 횡단보도 및 비슷한 위험 개소의 접근부						0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
A_2 (심한 조건)	(1) 상업 차량이 250대/차로/일 이상인 도로의 주요 교차점 접근부 (2) 로타리 교차와 그 접근부 (3) 제한속도 64km/시 이상인 도로 중 반경 150m이상의 곡선부 (4) 5% 또는 그 이상의 급구배가 100m이상인 구간				0.45	0.50	0.55	0.60	0.65		
B (평균 조건)	다음에 포함된 도로의 일반 직선 구간 (1) 고속도로 (2) 주요간선도로 (3) 상업 차량이 250대/차로/일	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55				

	이상인 그 외 도로										
C (양호한 조건)	(1) 경교통 도로의 일반 직선 구간 (2) 습윤시 사고가 문제가 되지 않는 그 외 도로	0.30	0.35	0.40	0.45						

이밖에도 세계 각국에는 자국에 맞는 기준들을 가지고 있으며 그 기준들을 토대로 미끄럼 마찰계수의 관리 기준치를 유지하도록 권고하고 있다.

(3) 미끄럼방지포장에 대한 성능기준 작성지침

현재의 미끄럼방지포장의 설치 및 관리 지침은 미끄럼방지포장의 설치 여부를 결정할 수 있는 기존 포장의 마찰력 값만 제시하고 있다. 미끄럼방지 포장이 설치될 때 지금 적용되고 있는 설치여부 성능기준만을 만족하여 시공된다면 얼마 지나지 않아 다시 설치여부 성능기준 이하로 떨어지게 된다. 그러면 경제적인 면이나 도로이용자의 안전성 면에서 매우 불리하다. 그런데 일정 기준 이하의 포장에 미끄

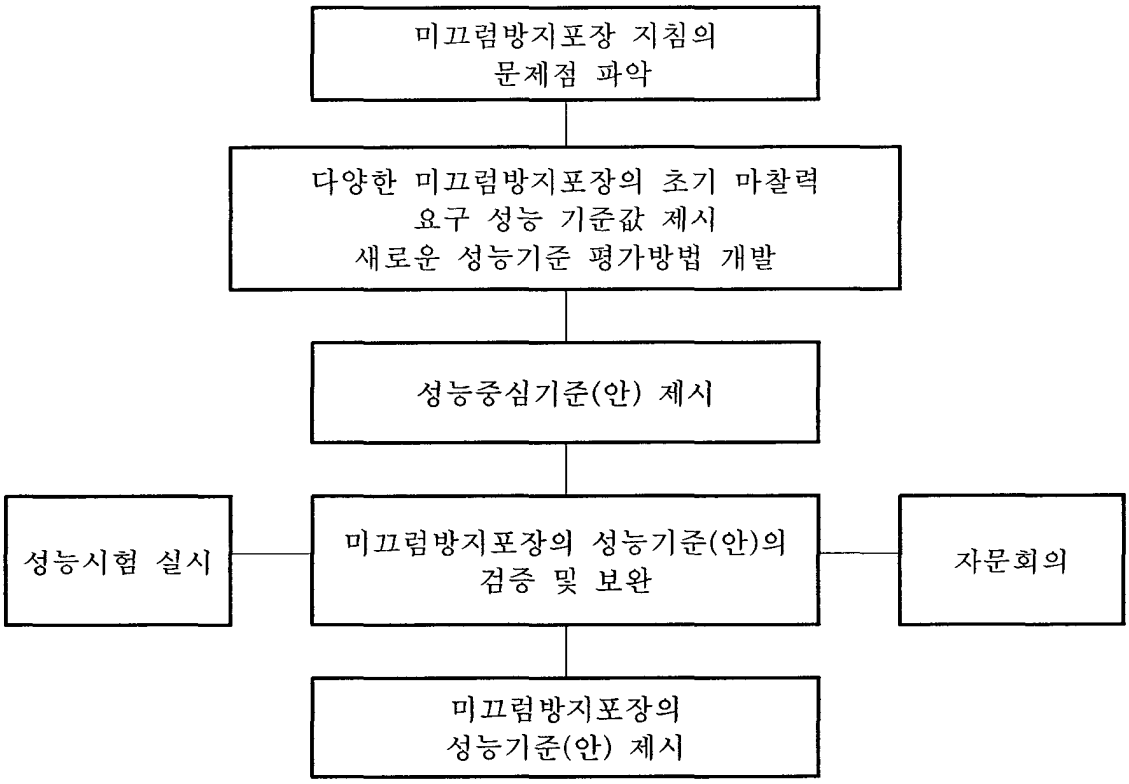


그림 3.47 미끄럼방지포장의 성능중심 개발 방향

럼방지 포장이 설치되도록 결정되어 시공된 직후의 초기 마찰력 성능기준 값은 제시되어 있지 않다. 또한 현재의 해외 기준 역시 미끄럼방지포장의 설치 직후 초기 마찰력 요구 성능 기준값을 제시하고 있지 않다. 따라서 표준화 단계에서 개립도 마찰층, 그루빙, 노면평삭, 숏블라스팅 등 다양한 미끄럼방지포장의 형식에 따른 초기 마찰력 요구 성능 기준값을 제시하여 성능기준(안)을 제시한다. 또한 필요하다면 미끄럼방지 포장의 요구성능을 측정할 수 있는 새로운 평가방법을 개발하고 미끄럼방지포장의 성능시험시설을 건설하거나 기존 도로 구간에 시험포장 등을 통하여 각각의 미끄럼방지포장에 대한 일관된 성능평가와 향후 새로운 미끄럼방지포장의 성능을 비교·평가하는데 이용될 수 있을 것이다.

사. 낙석방지시설

낙석방지시설은 낙석예방과 함께 예측하지 못한 낙석의 도로유입을 막기 위하여 낙석이 예상되는 구간의 절개면 전체 또는 일부에 설치하여 낙석으로 인한 제해로부터 도로이용자들의 인명피해와 재산손실을 방지하는 기능을 가진다.

낙석방지시설관련 기준은 1995년 제정이 되었고 2000. 11에 개정이 이루어져 현재의 기준과 부합되지 않은 일부 항목이 발생하고, 새로운 기술 발전으로 인한 사항이 반영되지 못하고 있는 실정이다. 또한 도로 절개면의 특성에 상관없이 표준도에 의한 단일모델이 시공되고 있어 시설의 효용성에 자주 의문이 제기되어 왔으며 낙석방지시설이 흡수할 수 있는 에너지 규모에 대한 기준이 부족하고, 낙석방지시설의 성능에 대한 분석 및 현장시험자료가 부족한 상태이다. 현재 한국건설교통기술평가원에서 발주하고 상지대학교에서 수행하는 "낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술 개발"과제를 통하여 낙석방지시설의 성능평가 기준연구가 진행 중에 있다. 그 구체적인 내용을 살펴보면 다음과 같다.

○ 과제명 : 낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술 개발

○ 주관연구기관 : 상지대학교 산학협력단

○ 총 연구기간 : 2005년 11월 4일 ~ 2010년 11월 3일 (5년간)

○ 차년도 연구개발 개요

표 3.71 연구개발개요(낙석방지시설의 성능평가 기준연구 분야)

	연구개발목표	연구개발 내용 및 방법
1차년도	국내외 낙석방호시설 설계기준 조사	국내외 낙석방호시설 성능평가 기준 및 지지능력 산정 기준 조사
2차년도	낙석 성능평가 시험시설 구축	낙석 성능평가 시험시설 구축
3차년도	낙석 성능평가 시험	낙석 방호시설 성능평가 시험 실시
4차년도	낙석 성능평가 시험	낙석 시설별 성능평가 시험 실시 및 시험방안 제안
5차년도	낙석 성능평가 시험	낙석 성능평가 제도화 및 시험장 공인화 추진

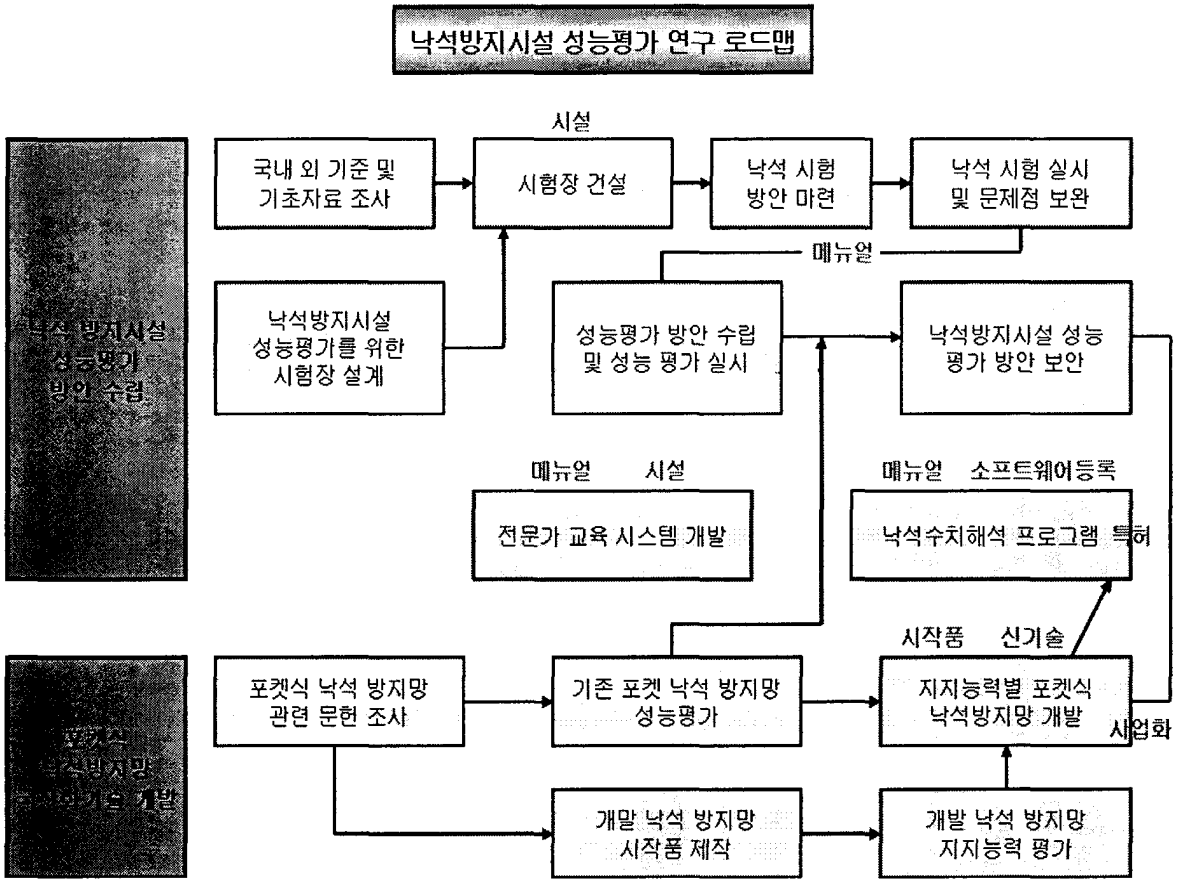


그림 3.48 낙석방지시설 성능평가 연구 로드맵

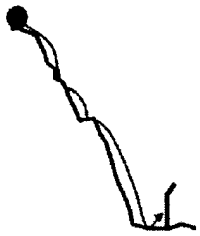
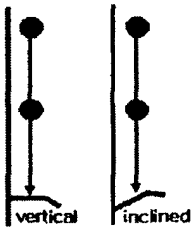
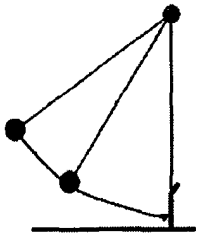
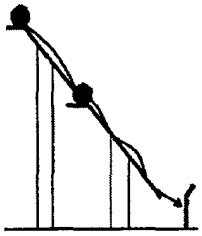
건설교통부에서 발간한 "도로안전시설 설치 및 관리지침"에는 표준낙석방지 시설의 규격과 에너지흡수능을 제시하고 있어 국내의 도로사면에는 대부분 이에 근거한 표준 낙석방지시설을 사용하고 있는 실정이다. 하지만 이러한 낙석방지시설이 실제 낙석 발생 시 큰 파손 없이 낙석을 방어할 수 있는지에 대해서는 여전히 의문점이 남아있다. 최근 국내 연구자들은 낙석시험을 통하여 표준낙석방지울타리가 50kJ을 견지지 못하거나 또는 부재의 파손이 발생하기 전에 연결부가 먼저 파손되는 등 에너지 흡수성능이 기준 값이 미달되는 경우가 있다고 보고하고 있다. 또한 박혁진 등(2000), 권호진 등(2005)은 국내 도로 절토사면에서 발생하는 크고 작은 낙석들을 효과적으로 방어하기 위해서는 90~100kJ의 에너지 흡수능력을 가진 효율적인 낙석방지울타리가 설치되어야 한다고 보고하고 있다. 따라서 기존 낙석방지시설의 성능평가 및 새로운 낙석방지시설의 개발이 필요하며 이를 위한 합리적인 에너지 흡수능의 평가방법이 요구된다.

한편, 낙석방지시설은 서로 다른 역학적 특성을 가진 부재를 기계적으로 조립하는 시스템이며 수학적인 모델을 이용하여 에너지 흡수성능을 계산하기가 매우 어렵다. 이는 낙석방지시설 형태의 다양성, 충격하중의 고려, 경계조건의 다양성, 낙석발생조건의 무작위성 등으로 인하여 수학적 모델개발이 어려울 뿐만 아니라 단순화된 모델 해석결과가 실물낙석시험 결과와 차이를 나타내기 때문이다. 이로 인하여 현 단계에서 낙석방지시설 성능평가는 실물을 이용한 시험을 실시하는 것이 가장 보편적이다. 국내외적으로 낙석방지시설에 대한 시험은 실제 사면낙석시험, 수직낙하시험, 페둘럼시험, 경사면시험, 발사시험 등 매우 다양한 시험들이 실시되었으며 (Spang, 2002) 국내에서도 사면낙석시험, 수직낙하시험을 실시하여 성능을 평가한 사례가 있으나 사용한 낙석방지망과 시험조건이 동일하지 않아 결과를 일률적으로 비교하기가 어렵다. 따라서 낙석방지시설의 성능평가 방법을 표준화 하고자 하는 연구는 기존 낙석방지시설에 대한 성능평가와 새로운 낙석방지시설에 대한 성능평가 결과의 비교를 위해 필요하다.

또한 여러 형태의 낙석방지시설에 대해서만 성능을 평가하며 다른 형태의 낙석방지시설에 대해서는 평가가 어렵다. 낙석시험 방법은 국내뿐만 아니라 국외에서도 많이 실시되었으며 Richie(1963)이 사면낙석시험을 실시한 이후로 다양한 시험들이 수행되었고, Pelia 등(1998)은 케이블에 낙석을 매달아 시험하기도 하였다. 성능평가를 위한 낙석시험은 일관된 평가결과를 제시해야 하므로 (1)현실적(conformity with

reality), (2)시험의 반복성(reproductibility), (3) 시험조건조정(condition control), (4) 비용(cost)적인 측면에서 가장 효과적인 방법이 바람직하며, 아래의 표와 같이 시험방법별 조건을 고려할 때 가장 적정한 방법은 수직낙하시험이다.

표 3.72 다양한 낙석방지시설(낙석방지울타리)의 성능평가 시험방법 비교

구분		사면낙석시험	수직낙하시험	펜둘럼시험	론칭시험
개략단면					
현실성		◎(실제사면)	△	△	○
반복성		×(무작위성)	◎	◎	×(무작위성)
시험조건	타격속도	×(제어어려움)	◎	○ (크레인 높이한계)	×
	타격위치	×(제어안됨)	◎	○	×
	타격각도	×(제어안됨)	○ (울타리 각도조절)	△	×
장치비용		◎(저가)	○	○	×(고가)
시험비용		△	○	○	○

◎:우수, ○:양호, △:보통, ×:불량

표에 나타난 실험들은 낙석방지울타리를 기준으로 성능평가 방안을 제시한 것이나 낙석방지망 또한 위와 같은 방법으로 시험을 통한 성능평가를 시행할 수 있을 것이라 판단된다. 시험의 목적은 최대에너지 흡수성능을 평가하거나 또는 임의 에너지를 갖는 낙석을 방어할 수 있을 것인가를 확인하는 것이며, 시험방법은 낙석에너지(높이×중량)를 조절할 수 있어야 한다. 수직낙하시험은 높이와 중량을 임의로 변경할 수 있지만 두 변수를 모두 변화시키기보다는 현실적인 조건을 맞추는 것이 필요하다. 국내 고속도로 사면 형상은 대체적으로 약 20m마다 3.0m 폭의 소단을 두고 있으며, 높은 위치에서 암석이 낙하하더라도 마지막 소단부에 타격이 발생하

며 대체적으로 낙석의 최대속도는 20~30m/s 미만이다. 따라서 최대 낙석 낙하 높이를 20~25m로 결정하고 시험에 필요한 낙석에너지는 낙석의 크기를 조정하여 맞추는 방법을 제안한다. 예를 들어, 100kJ의 낙석에너지에 대해서 시험하고자 하면 0.5ton의 낙석을 20m높이에서 낙하시키거나 또는 0.4ton의 낙석을 25m에서 낙하시켜 에너지를 맞추는 방법이 된다. 낙석방지울타리 성능평가는 현실적으로 실물시험을 통한 평가가 필요하며, 여러 연구자들에 의해 다양한 시험방법들이 적용되었다. 그러나 시험 방법 간 역학적 메커니즘과 시험조건 차이로 인하여 결과비교가 어려운 실정이다. 본 연구에서는 시험방법 차이로 인한 문제를 최소화시키기 위하여 수직낙석시험을 이용한 표준시험방법을 고려하고 있으며 낙석방지망의 고정부 종류에 따른 지지력을 평가하기 위한 방안도 고려하여 낙석성능평가 시험장을 건설하고 시험함으로써 건교부 지침상의 표준낙석방지울타리 및 낙석방지망에 대한 일관된 성능평가와 향후 새로운 낙석방지시설의 성능을 비교·평가하는데 이용될 수 있을 것이다.

제 5 절 터널분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발

1. 터널분야 성능기준 개발방향

가. 지반 파라메타의 특성값 설정의 표준화

설계코드의 가장 중요한 역할은 작용하는 하중과 저항요소, 설계계산모델 사이에서 불확실성을 고려하면서 구조물의 여러 가지 요구 성능이 공용기간 중에 충분히 만족하도록 설계에 어느 정도의 여유를 예상하는가를 결정하는 것이다.

지반공학의 관점에서 보면 자연이 제공하는 재료인 지반에서는 현장마다 지반조사와 시험을 실시하고, 그 지반의 파라메타값을 결정하여야 한다. 어떠한 현장에서 건설된 기초구조물에서도 설계에 있어서 균질한 한계상태에 대한 여유를 확보하기 위해서는 각 현장에서 구해진 지반 파라메타의 특성값의 결정방법이 어느 정도 표준화되고, 그 특성값이 어떠한 의미에서 지반의 대푯값 인가를 설계자가 충분히 이해할 필요가 있다. 이것에 대하여 적절한 설계방법을 개발하여 설계코드에 포함시킬 필요가 있다.

나. 다양한 요구사항을 포괄적, 세부적 수용 가능한 체계에 대응

터널 설계와 관련하여 전반적인 내용을 다루고 있는 기준만으로는 특수한 형식의 설계, 신기술을 이용한 각종 터널의 설계, 고도의 기계화·정밀화·대형화된 보조공법을 뒷받침 할 수 있는 문제들을 해결할 수 없으므로 이러한 다양한 설계요구사항을 반영한 설계기준 및 하위기술기준의 제정이 필요하다. 또한, 현재 구비되어 있는 기준, 지침, 편람 등도 특정 형식 또는 특정 기술에 대해 제한적으로 설명하고 있어 다양한 형식의 터널설계에 대한 세분화된 기준의 정비가 필요하며, 특히, 터널의 성능기준의 설정 시에는 다음 사항에 대한 고려가 필요하다.

㉠ 구조물 성능기준을 전술한 안전성, 사용성(공용성, 유지관리성), 사회·환경성 등으로 분리하여 접근

㉡ 설계, 시공 및 유지관리를 고려한 성능기준의 설정

㉢ 구조체의 장기적 관점에서의 요구성능 도입 필요

㉣ 구조체의 변상영향 및 대책에 대한 성능평가 기준수립 필요

최근 선진국들의 터널 설계법은 지속적으로 변화 발전하고 있으며, 터널과 관련한 새로운 형식, 신소재, 신공법 등의 개발로 현재의 국내 기술수준만으로는 효과적인 설계 및 시공이 이루어지지 못하는 경우가 발생하고 있다. 이러한 변화발전에 따라 장기적인 계획 하에 설계기준의 정립 및 성능기준 확립을 위한 지속적인 관심이 필요할 것으로 판단된다.

다. 지반 구조물 성능평가를 위한 성능예측모델 개발

성능에 기반한 지반구조물의 설계를 위해서는 보다 합리적이고 명확한 지반구조물 거동 예측 및 장기 성능평가방법이 필요하다. 이는 동일한 강성과 강도의 재료가 투입되어도 설계되고 있는 터널구조물의 규모 및 형상 그리고 시공방법에 따라 구조물의 성능은 차이가 나기 때문이다. 따라서 다양한 수준의 성능기준을 만족시키는 설계를 수행하기 위해서는 성능기준의 설정뿐 만 아니라 설계안에 대한 구조물의 성능을 예측하는 논리적인 방법의 개발과 보다 객관적이고 논리적인 예측체계가 필요하다

2. 터널분야 성능기준의 개념 및 특성

가. 터널분야 성능 설계의 배경

토목구조물과 건축구조물과 같은 구조물이 보유하는 성능(Performance). 곧, 다양한 하중 하에서의 구조물거동은 반드시 일정하다고 할 수 없다. 이는 ① 종래의 설계체계에서는 정해진 수순대로 설계를 시행하였을 때, 설계자는 자신이 설계한 구조물의 성능을 반드시 정확히 알고 있다고 할 수 없는 것, ②구조물의 성능은 큰 외력이 작용하였을 때 처음으로 분명하게 나타나는 경우가 많지만 발생 빈도가 낮은 외력의 특성이나 큰 외력 작용시의 구조물의 거동의 예측은 쉽지 않다는 것, ③ 기존의 구조물의 대부분은 큰 장애가 발생하는 일 없이 공용으로 잘 견디어져 왔

고, 어느 정도의 안전성 등이 현행의 설계규준에 이미 확보되어 있을 것으로 예상되는 것, ④ 일반인의 생각으로는 구조물이 안전하다는 것은 당연시 되고 있지만, 코스트와 구조물이 갖는 성능과의 균형이 분명하게 인식되어있지 않을 것이라는 등의 이유로부터, 구조물의 성능을 명확하게 평가하기 위한 기술이 체계적으로 확립되어 오지 않았다는 것을 원인으로 들 수 있겠다. 설계 체계 가져야 할 본래의 모습은 설계자 자신이 설계한 구조물의 성능을 합리적으로 파악하고, 구조물의 성능에 관한 정보를 이용자에게 제공함으로써 구조물이 보유하는 성능이 가치판단의 근거재료가 된다고 말할 수 있겠다. 이러한 기술적 측면에서 본 현행설계규준의 단점을 극복하기 위한 한 가지 방법으로 제창되고 있는 것이 성능설계(Performance-based design)이다.

단. 성능설계가 제창되어온 배경으로는 전술의 기술적 측면에서의 요청 보다는 오히려 이하에서 논할 사회적 · 경제적 측면에서의 요청이 강했음을 부정할 수는 없을 것이다. 1990년대에 들어, 경제활동의 국제화 경향이 강해지고, 1995년에는 [무역의 기술적 장해에 대한 협정] (WTO/TBT)의 체결이 이루어졌으며, 1996년 2월에는 일미포괄경제협의에서의 건축분야의 규제완화가 미국 측으로부터 요구되었다. 또한, 국제표준화기구(ISO : International Organization for Standardization)에 따른 국제규격 등의 성능규정화가 촉진되어온 것도 겹쳐서, 일본의 건축분야에서는 건축기준법이 성능규정화를 의도한 설계기준으로 개정되어, 성능표시제도, 하자보증제도, 분쟁처리체제 등 3개를 주요골자로 한 주택의 품질 확보의 촉진 등에 관한 법률이 2000년 6월부터 시행되고 있다.

나. 설계의 방향

(1) 설계의 기본 방향

㉠ 터널의 설계는 조사결과를 토대로 안전성, 시공성, 경제성과 내구성이 확보 되도록 하여야 하며 실제 시공시의 조건이 설계당시에 예측한 조건과 상이할 경우 설계내용의 변경방법 및 조치사항 등을 포함하여야 한다. 이를 위하여 설계시에 적용한 제반 적용한 자료와 분석 및 예측사항을 명확하게 제시하여야 한다.

㉡ 설계시에는 터널주변 원지반이 보유하고 있는 지보능력을 최대한 활용할 수 있

도록 단면형상, 굴착공법 및 방법, 지보재 및 시공순서 등을 산정하여야 한다. 아울러 안전시공이 가능하도록 계측계획이 반영되어야 한다.

㉣ 시공후에 환기, 조명, 방재시설 등의 제반설비 사항도 고려하여야 한다.

㉤ 터널굴착시 원지반의 손상이나 여굴 발생이 최소화되도록 설계하여야 하며 원지반의 손상이나 여굴 발생시 그 처리방안을 제시하여야 한다.

㉥ 설계시에는 터널의 안정성은 물론 시공이 터널주변 환경에 미치는 영향을 평가하고 분석하여 필요시 합리적인 대응책을 마련하여 반영하여야 한다.

(2) 설계의 기본 요건

㉠ 평면 및 종단선형

㉡ 굴착대상지반의 분석 및 분류

㉢ 터널단면의 형상

㉤ 굴착공법 및 굴착방법

㉥ 각종 지보재의 규격 및 시공순서

㉦ 필요한 보조공법

㉧ 방수 및 배수방법

㉨ 콘크리트 라이닝의 시공 여부 및 재원

㉩ 계측계획 및 수행방법

㉪ 각종 부대시설 및 방재설비

㉫ 지하구조물 시공에 따른 환경영향분석

㉬ 공사시방서

(3) 성능의 계층화에 관한 정의

- 목적 (Objective) :구조물을 건설하는 이유.
- 기능 (Function) : 이용자가 목적에 적합하도록 구조물에 기대하는 역할. 통상 일반인이 이해하기 쉬운 말로 표현된다.
- 품질 (Quality) : 제품이 갖는 한가지의 특성을 정량적 지표로 표현한 것. 미리 설정된 검사나 시험에 따라 정량적 지표의 한가지의 실현치가 얻어진다.
- 요구성능 (Required Performance) : 설계하려 하는 구조물이 보유해야 할 요구된

성능에서 구체적으로는 성능조사 (응답치 S ≤ 한계치 R)를 만족하는 것.

- 기본성능 (Basic Performance) 요구성능을 만족하기 위해 고려해야 할 성능이며, 안전성, 사용성, 환경적합성, 시공성, 유지관리성 및 해체 · 재이용성으로부터 정의된다. 더불어 내구성은 안전성에 포함된다.
- 요구성능수준 (Level of required performance) : 구조물의 요구성능에 부응하는 한계상태로 도달하는 난이도의 정도. 정량적으로는 신뢰성이론에 기반하여 파괴확률 혹은 신뢰성지표의 대소로 나타낸다.
- 요구성능의 상위표현 (Upper class expression for required performance) : 일반인이 이해 할 수 있도록 표현한 요구성능.
- 요구성능의 중위표현 (Middle class expression for required performance) : 표준적 기술자가 이해할 수 있도록 정성적으로 표현한 요구성능
- 요구성능의 하위표현 (Lover class expression for required performance) : 표준적 기술자가 이해할 수 있도록 정량적으로 표현한 요구성능.

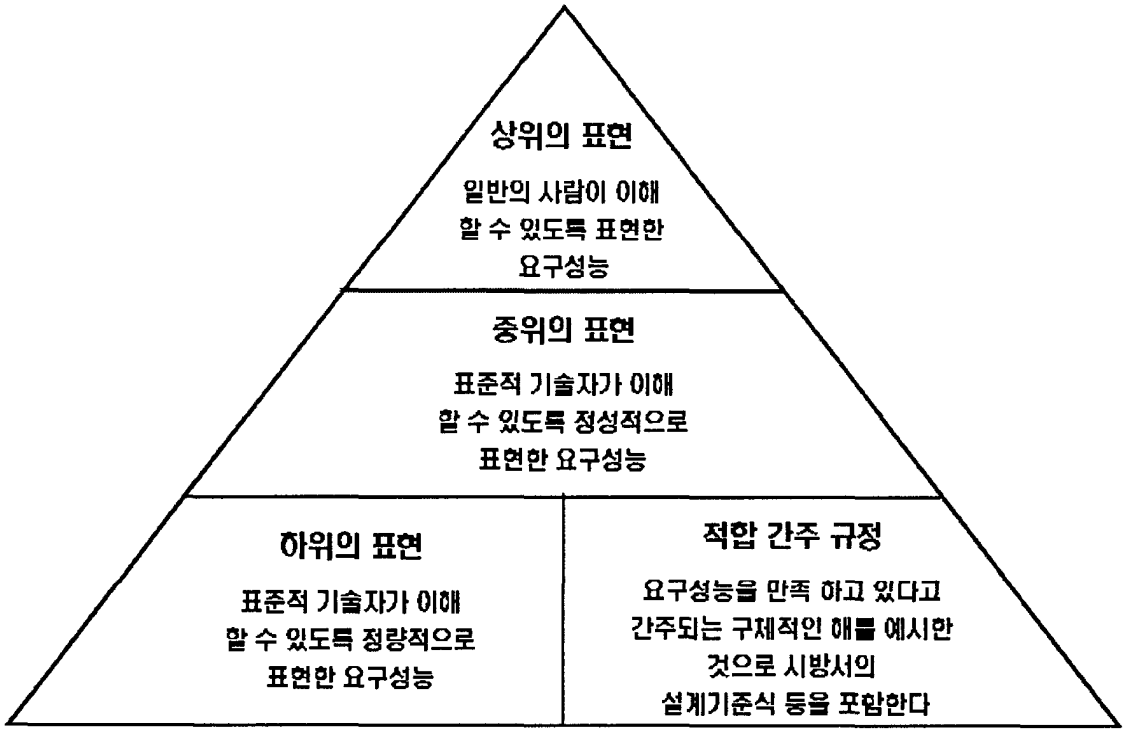


그림 3.49 요구성능의 계층

(4) 성능의기반설계법의 개념 및 체계에 관한 정의

- 성능조사형 성능기반 설계법 (Performance-based design) : 설계된 구조물이 요구성능만 만족하고 있다면 어떠한 구조형식이나 구조재료, 설계수법, 공법을 써도 좋은 설계 방법. 보다 구체적으로는 구조물의 목적과 그에 적합한 기능을 명시하고 기능을 갖추기 위해 필요로 하는 성능을 규정하고 규정된 성능을 구조물의 공용기간 동안 확보함으로써 기능을 만족시키는 설계방법. 유사용어로는 성능규정형 설계, 성능명시형설계, 성능지향형설계 등이 있다.
- 사양규정에 기반하는 설계 (Regulation-based design) : 구체적인 구조부재의 종류나 촌법제원, 해석수법 등이 지정되어 있어서 그것에 기반하여 설계하는 방법. 많은 현행설계기준은 이에 해당한다.
- 적합하다고 간주되는 규정 (Deemed-to-satisfy regulation) : 요구성능을 만족하고 있는 것으로 보이는 [해]를 예시한 것으로 성능조사방법을 명확하게 표시할 수 없는 경우에 규정되는 구조재료나 방법 및 종래의 실적으로부터 적합하다고 간주되는 현행기준에 지정된 해석법, 강도 예측식 등을 쓴 조사방법을 나타낸다. 그 외에는 적합하다고 간주되는 규정, 적합하다고 간주되는 사양, 승인설계 등의 용어가 있으나 시방서 등에 규정되어있는 기존의 해석법 혹은 예측식도 이 안에 포함되기 때문에 사양보다도 규정 쪽이 적절하므로 적합하다고 간주되는 규정을 사용한다.
- 신뢰성 설계법 (Reliability based design) : 구조물이 한계상태에 도달할 가능성을 확률론적으로 조사하는 설계법. 신뢰성설계법은 구조물의 파괴확률에 대한 산정정도가 높은 순서로 Ⅲ, Ⅱ, Ⅰ 의 3레벨로 구분되어 있다.
- 한계상태 설계법 (Limit state design) : 조사해야 할 한계상태를 명확하게 한 설계법. 조사포맷으로서 신뢰성이론의 레벨 Ⅰ에 해당하는 부분안전계수법을 채용하는 경우가 대부분이므로 부분안전계수법 (Partial safety factor design)을 한계상태설계법과 같게 쓰는 경우도 많다.
- 평가성능 (Evaluation property of performance) : 기본성능에 대해 평가할 성능에서 기본성능보다 세분화 된 항목. [안전성]이라고 하는 기본 성능에 대해 열거된다.
- 조사지표 (Index for performance check) : 평가성능을 구체적으로 나타낸 물리량

에서 조사에서 필요한 응답치나 한계치의 산출대상이 되는 평가성능.

- 성능조사 (Performance check) : 응답치 S와 대응하는 한계치 R 사이에 $S \leq R$ 또는 $f(S.R) \leq 1.0$의 판정을 하는 행위.
- 응답치 S (Demand, Resoponse value) : 외력에 의해 구조물에 발생하는 물리량.
- 한계치 R (Capacity, Limit value of performance) : 응답치에 대해서 허용되는 한계의 치에서 [한계상태]의 종류에 따라 정해지는 물리량.
- 요구성능 매트릭스 (Required performance matrix) : 구조물에 부여되어야 할 성능의 그레이드와 수준과 상정을 고려하는 외력의 그레이드 수준을 매트릭스로 표시한 것.

(5) 한계상태에 관한 정의

- 한계상태 (Limit State) : 기본성능에 대해 그것을 넘는 요구를 만족할 수 없게 되는 상태.
- 궁국 극한 한계상태(Ultimate limit state) : 안정성(내구성을 포함한)에 관한 한계상태에서 그것을 넘으면 내하성능, 변형성능 등을 상실하여 파괴된다.
- 사용한계상태 (Serviceability limit state) : 통상의 사용성에 관한 한계상태에서 그것을 넘으면 사용성을 상실한다.
- 수명 (Life, Lifetime, Life period, Life cycle) : 구조물이 시공된 후부터 어떠한 이유로 사용이 정지되어, 철거될 때까지의 기간, 물리적 수명, 기능적 수명, 경제적 수명으로 분류된다.
- 설계공용기간 (Design working life) : 당초의 유지관리계획의 범위 안에서, 곧 특별한 보수를 하는 것 없이 구조물 (구조 및 부재 · 부품)이 당초의 목적을 위해 사용되기 위해 설계시에 고려되는 기간. 동의어로는 설계내용 고용연수, 공용내용연수 등이 있다.
- 라이프사이클 기간 (Lifecycle period) : LCC, $LCCO_2$ 등의 라이프사이클에서의 평가량을 산정하는 기간으로 주구조의 설계 공용기간에 가깝다.
- 라이프사이클 코스트 (Lifecycle cost, LCC) : 구조물의 계획, 설계, 시공, 고용 · 유지관리, 해체까지를 포함한 라이프사이클 기간에 필요한 비용의 총량.
- 라이프사이클에서의 CO_2 배출량 (total CO_2 emission in lifecycle period, LC

CO_2) : 환경부하항의 하나로 라이프 사이클 기간에서의 이산화탄소 총 배출량.

(6) 성능의 조사 수준 및 검증 · 인정에 관한 정의

- 하중모델 (Design load model) : 응답치의 산출할 때 설계시 고려하는 하중으로 그 특성을 적절하게 해석에 취합하기 쉽도록 모델화 한 것.
- 조사법 성능 평가 수준의 레벨 (distinctness level of performance check) : 설계한 구조물이 요구성능 레벨 수준을 만족하고 있는지를 조사할 경우 응답치와 한계치의 비교 방법의 엄밀성의 정도를 나타낸 것.
- 해석수법의 신뢰성 수준(Reliability level of structural analysis) : 설계한 구조물에 설계하중을 작용시킨 경우의 응답치나 한계치를 산출하기 위한 해석수법의 타당성을 신뢰성으로 나타낸 것. 다음의 3 단계로 나뉜다.

㉠ 충분히 신뢰되고 있는 것을 레벨 H

㉡ 충분히 신뢰되지 않았지만 고도의 기술자가 공학적으로 적당하다고 판단한 것을 레벨 M

㉢ 근거가 명확하지 않고 종래의 실례 및 실습을 답습한 것을 레벨 L

- 하중의 설계치 및 한계치의 신뢰성 수준 (reliability level of design load and capacity) : 응답치를 산출할 경우의 하중값이나 한계값을 산출하는 경우의 강도치의 적절함을 나타낸 것. 다음의 4단계로 나뉜다.

㉠ 충분한 데이터를 수집하여 신뢰성이론을 토대로 산출된 것을 레벨 A

㉡ 충분한 데이터가 수집되어 있지는 않지만 고도의 기술자가 데이터를 기초로 공학적으로 적당하다고 판단한 것을 레벨 B

㉢ 국내외의 기준(규준)을 참고하여 안전측이 되게 규정한 것을 레벨 C

㉣ 공칭값을 사용한 경우 쓴 것을 레벨 D

- 사전평가 (Pre-evaluation) : 구조물의 계획 및 설계단계에서 구조물의 제작 및 가설시, 공용시, 해체 및 재이용 시에 요구되는 성능을 만족하도록 조사하는 행위.
- 사후평가 (Post-evaluation) : 구조물의 제작 · 가설시의 품질검사, 공용시 및 우발적 외력에 따른 손상시의 점검 · 조사 등의 행위. 곧 구조물의 제작 · 가설 이후에 있어서 요구성능을 조사하는 행위.
- 조사 (Performance check) : 사전평가 또는 사후평가시에 응답치와 한계치를 비

교하여 하위의 요구성능을 만족하고 있는지 아닌지를 조사하는 것으로 설계자가 하는 행위.

- 조사 (Performance check) : 사전평가 또는 사후평가시에 응답치와 한계치를 비교하여 하위의 요구성능을 만족하고 있는지 아닌지를 조사하는 것으로 설계자가 하는 행위.
- 검정 (Verification) : 설계된 구조물이 모두의 요구성능을 만족하고 있는지 아닌지를 정사하고 제3자 기관이 시행하는 행위. 검정에서 합격하면 인정을 받은 제3자 기관이 인정하는 것이 된다.
- 인정 공인 (Authorization) : 검정을 실시하는 여러 기관을 정하는 것으로, 최고의 행위.
- 인증정 (Certification) : 인정기관이 요구성능을 만족하고 있는지를 검정하여 증명서를 내는 행위.

3. 터널분야 성능기준 개발 대상 및 범위

지하시설물(터널)의 설계와 관련된 설계기준 및 하위기술 기준은 터널 설계기법의 발전과 함께 변화, 발전, 세분화 되어 왔다. 터널 건설에 관련하여 시방서 운영체계의 혼란을 피하고 효율적인 기술관리를 위하여 1997년 건설기술관리법 시행규칙 제 14조(설계도서의 작성)에서 시방서 종류별 정의와 위계질서를 정립하며, 터널설계 기준과 터널표준시방서를 분리하여 개편, 보완하였다.[44] 2007년 현재 기존 터널 설계기준 및 터널 표준시방서가 재 개정작업 중이다.

지하시설물(터널) 설계와 관련하여 전반적인 내용을 다루고 있는 기준만으로는 시대적으로 요구되는 다양한 문제들을 해결할 수 없으므로 금후 다양한 설계 요구사항을 반영한 기술기준 및 세분화된 기준의 정비가 필요하다.

일본, 미국, 유럽 등 성능기준이 확립된 다른 국가의 성능기준 관련 현황을 살펴보면, 안전성 측면에서의 성능조건에 대한 연구는 과거부터 수행되어 왔고, 최근에는 사용성 측면에서의 성능기준에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 한편, 국내의 성능기준 관련 현황은 구조물의 성능기준에 대하여 주로 재료적인 측면에서 접

44) 건설교통부 터널설계기준, 1999

근하고 있으며, 이 또한 주로 설계, 시공개념에 한정되어 있어, 사용성 측면에서의 연구가 필요하다.

지하시설물(터널) 분야에 있어서 금후 국내 성능기준의 확립을 위해 성능기준을 도입한 국가의 기준을 참고로 다음과 같이 정리할 수 있다.

가. 터널분야 성능기준 개발의 범위 일반사항

터널은 인류에게 남겨진 귀중한 공간으로서 장기적이고 체계적인 계획아래 개발이 이루어져야 한다. 따라서 터널은 건설목적에 부합하면서 안전성과 기능성, 지하생태환경까지도 고려한 환경 친화적이고 지속가능한 개발이 되어야 한다.

본 연구에서는 터널분야 성능 중심의 건설기술기준 작성지침을 개발하여 안정성 측면에서의 성능의 작성지침을 개발하고자 한다. 따라서 현재 터널 시방서 및 설계기준에 모호하게 정의 되어진 규정을 성능을 고려한 설계가 가능하도록 기준을 제시 하도록 할 것이다.

㉠ 강지보재의 성능 제시

㉡ 숏크리트의 성능 제시

㉢ 록볼트의 성능 제시

㉣ 콘크리트 라이닝의 성능 제시

㉤ 철망의 성능 제시

㉥ 배수 · 방수에 따른 성능 제시

㉦ 보조공법의 성능 제시

㉧ 변형 · 균열 발생시 성능 제시

㉨ 내화성능 및 환기 성능 제시

국제시장의 개방에 따라 국내의 구조물 설계분야에 있어서도 ISO 등의 국제규격과의 기술적 조건의 충족이 요구되고 있다. 유럽에서는 유로코드(Eurocodes)에 의한 설계기준의 통일화가 진행되고, 아시아 여러 국가에서도 지역 공통의 설계기준 작성을 목표로 하는 움직임이 시도되고 있다.

국내의 경우, 국토의 70% 이상이 산지로 구성되어 있어 필연적으로 많은 터널이 건설되고 있으며 도로 및 철도의 연결고리 역할을 하는 터널은 사회·경제적인 중

요성과 그 종류의 다양함으로 인해 충분한 안전성과 경제성을 확보할 수 있도록 적합한 시방기준에 따라 설계 및 시공이 이루어져야 한다. 기술의 진보에 따라 터널 또한 장대화·대형화 되면서 기존의 설계방식으로는 터널의 안전성을 확보할 수 없는 경우가 많으므로 합리적이면서도 체계적인 설계방법 및 설계절차를 확립하기 위한 다양한 연구가 진행 되어 왔으며, 도로와는 독립적인 각종 설계기준 및 시방서가 제·개정 되어왔다.

최근까지 설계기준들의 체계가 불명확하고 연계성 설정이 낮아 상층 부분의 조정·누락 또는 미비 부분의 보완과 기술의 발전에 따른 새로운 기술을 추가할 수 있는 방안을 마련하고 이를 시행해 나갈 수 있는 종합적인 정비계획이 수립 및 시행되어 왔다. 이러한 노력의 일환으로 터널설계와 관련한 국가기준과 하위기술기준들을 체계적으로 정립해 나감으로서 기준과 터널 설계기술의 발전을 도모하고, 궁극적으로는 이용자에게 안전한 터널을 제공할 수 있는 바탕을 마련해야 할 것으로 판단된다. 따라서 현재 국내 터널건설공사기준 체계는 구조물의 기술적 조건을 충족시키려는 규정 및 시방중심의 기준(Prescriptive Codes)이고, 세계적인 표준화 흐름에 맞추기 어렵기 때문에 터널과 관련한 표준화 및 국제화에 대한 대응이 필요하며 본 연구를 통해 이러한 요구를 충족시킬 수 있을 것으로 판단된다.

나. 안전성 측면에서의 성능

(1) 지반관련 항목

㉠ 수압, 토압이 작용하는 경우

㉡ 팽창성 지반, 단층, 미고결 지반 등

(2) 외부환경 항목

㉠ 지형변경에 의해 작용하중이 변화하는 경우

㉡ 지진에 의한 내진성능이 요구되는 경우

㉢ 근접시공이 실시되는 경우

㉣ 지반, 지보재의 재료열화에 대한 내구성이 요구되는 경우

㉤ 강도, 응력, 변형률 등 구조내력이 요구되는 경우 등

다. 사용성 측면에서의 성능

㉠ 누수가 없고, 재료의 수밀성의 확보
㉡ 점검·진단 등 유지관리의 용이성 확보
㉢ 조명, 환기시설 등의 설비성능의 확보
㉣ 도로 이용자들에 대한 교통소통의 확보 등 편의성 확보

라. 유지관리 성능기준 현황

(1) 유지관리에 있어서 터널 변상

도로 터널의 변상의 요인은 ① 시공불량 등의 시공오류, ② 소성압, 편압 등의 지산(복공 포함)의 영향, ③ 재료열화 등의 시간적 변화의 3종류로 구분할 수 있다. 그러나, 변상이 발생하여도 원인에 대한 판단이 곤란하거나, 여러 요인이 복합적으로 발생하거나, 변상이 구조에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 판단이 곤란한 경우가 있다. 또한 변상과 대책공에 대해서도 각각의 변상정도에 적합한 대책이 시행되고 있지만 관리자의 경험에 따라 실시되는 경우도 있다. 또한 터널의 점검은 주로 복공 콘크리트의 변화를 육안조사에 의해 판단하기 때문에 평가시 조사자에 따른 영향을 받기 쉽고, 판정기준도 정성적으로 표현되어 모호할 뿐 아니라 관할하는 기관에 따라 평가기준도 다르기 때문에 변상에 대하여 통일된 판단이 실시되기 어려운 것이 현실이다. 또한, 터널의 안정성을 유지시키고 있는 지보재 등은 복공 콘크리트로 폐합되어 있으므로 변상정도를 관찰하고 평가하는 것은 더욱 힘든 일이다.

이와 같이 터널은 변상이 발생하여도 구조체에 미치는 영향 혹은 금후의 사용기간에 대한 예측 등을 명확히 하기가 곤란한 경우가 발생한다. 따라서 이것을 해결하는 방법으로 터널에서 요구되는 성능을 명확히 하고, 목표성능을 구조물의 상태(한계상태)로 나타내는 구조평가의 판정기준의 수립이 필요하다.

(2) 유지관리에 있어서 성능기준 도입

터널의 설치목적을 「안전하고 쾌적한 교통편의 제공」이라 정의하면, 목표성능을 표시하는 지표는 전술과 같이 안전성, 사용성(공용성, 유지관리성), 사회환경성으

로 구분할 수 있으며, 각각의 목표성능으로 ① 안전성 : 인명피해를 발생시키지 않는다, ② 유지관리성 : 통행정지 없이 복구 가능하다, ③ 공용성 : 기능저하가 동반되는 변상발생이 없다, ④ 사회환경성(미관) : 복공 표면의 미관손상이 없다, 라는 설정이 가능하다. 터널의 현재의 점검수법으로부터 유지관리를 실시하는 판정기준이 복공의 변상에 집약되어 있다고 가정하면, 복공의 구조체로서 상태변화를 응력~변형률 관계로 취급하여 나타낸 것이 아래 그림이다.

터널의 한계상태에서 터널의 공용에 지장이 없는 정도로 변형이 발생한 상태를 사용한계상태, 복공의 파괴 및 큰 변형 등으로 안정, 기능상실 상태를 종국한계상태로 정의하면 사용한계상태와 종국한계상태의 경계는 공용성과 유지관리성 사이에서 대응하고 있다고 판단된다. 명확한 경계가 없는 것은 구조물 마다 요구되는 성능이 다르기 때문이다. 사용한계상태를 초월하면 어떠한 형태로던지 변상이 발생할 우려가 있기 때문에, 여기에서 변상의 판정기준을 설정한다. 결국, 사용한계상태에 도달하지 않는다는 목표를 설정하면 현재와 같은 사후대책에서 예방대책으로의 전환이 가능하고, 보다 합리적인 유지관리가 가능하다고 판단된다.

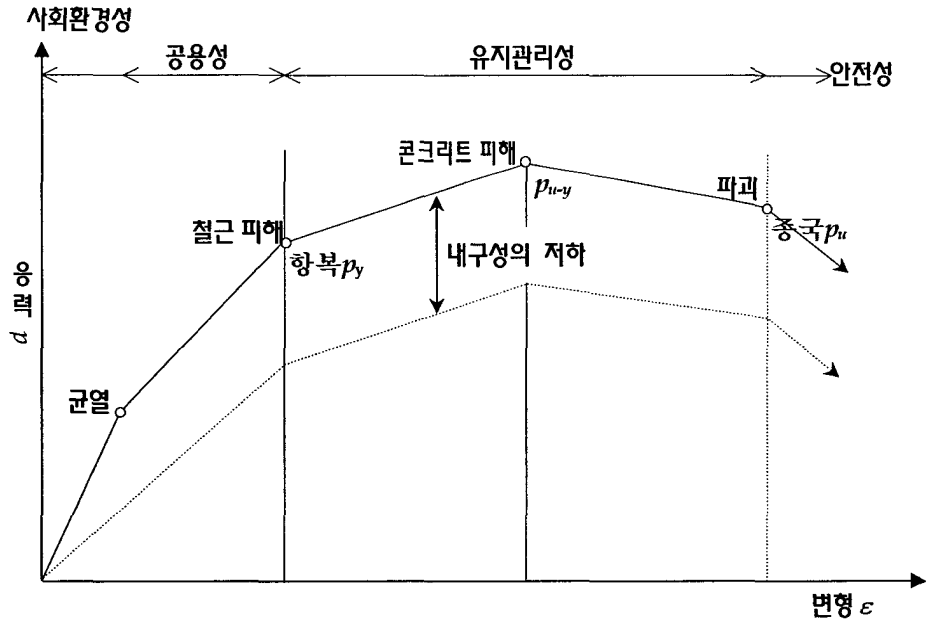


그림 3.50 터널구조물 성능 개념도

마. 기본 성능의 종류

구조물의 사전평가단계에서 고려하지 않으면 안 되는 구조물의 시공시, 공용시, 해체, 재이용 시에 요구되는 기본성능은 구조물의 종류에 따라 가지 각색이다. 이들은 주로 사전평가단계에서 고려되는 기본성능이며, 사후평가단계에서는 별도의 요구성능도 생각할 수 있지만, 기본적으로 큰 차이는 없다.

(1) 사전평가 단계에서의 기본성능

(가) 공용시

공용시에 작용할 것으로 상정 고려되는 하중, 즉, 설계시방서에 규정되어 있는 주하중, 종하중, 특수하중 등에 대해 고려하는 기본성능은 크게 나누어 3가지가 있다.

① 안정성 (safety)

② 사용성 (serviceability)

③ 환경적합성(environmental fitness)

내구성은 기본적으로는 안전성의 조사에 대한 것이므로 안전성의 범위에 포함되어 있다. 터널의 경우 통상 내구성으로서 문제가 되는 것은 균열이 있다. 내구성은 건설 시 (t=0 초기상태)로부터 해체 시 ($t=t_f$, 공용 종료 시)까지의 시간을 함수로 한 강도(t) 혹은 손상도(t)의 예측이 가능하다면, 이것이 부식한 만큼 감소할 때 까지는 안전하다. 또한, 피로라고 하면 피로손상도(t)가 설계공용기간 중 어느 일정치 이내에 들어가도록 하면 안전하다.

(나) 시공시

터널의 경우에는 시공시에 라이닝, 숏크리트, 록볼트등의 성능을 조사하여, 적절한 품질관리(quality control)를 시행하여 요구되는 터널의 성능을 확보하고자 한다. 시공성(constructability)의 기본적인 생각은 설계 시와 같다. 또한 시공기간의 단축성으로서 공장 혹은 현장에서의 자동화, 성력화 및 공도시공의 특수성 등이 있다.

(다) 유지관리시

유지관리에서 문제가 되는 것은 점검, 모니터링 및 보수, 보강 등의 용이성이다.

(2) 사후평가단계에서의 기본성능

사후평가단계에서 고려해야 할 기본성능

① 통상 유지관리시

② 차의 충돌 등 우발적인 외력이 작용한 경우

③ 구조물의 기능에 관한 기준이 개정된 경우

④ 구조형태의 변화가 있을 경우

외력이 발생한 경우에는 구조물의 상태가 점검 조사되어, 그 후의 사용에 대한 안전성, 사용성, 환경적합성이 체크되어 필요에 따라 보수, 보강이 행해진다. 건설후의 사후평가단계에서 요구 성능을 생각할 때에는 실제의 구조물을 대상으로 하기 때문에, 구조물에 관해서 얻을 수 있는 정보 (사후정보) 가 많아진다. 또한, 사회적인 요구 성능에 관해서도 그 취급이 달라지는 경우도 나올 수 있다고 판단된다.

바. 한계 상태

한계상태는 기본성능의 각각에 대해 상정 고려되는 한계의 상태이다. 이것을 명확하게 함으로써 한계상태설계법에 기반한 조사가 가능하게 된다. 각각의 기본성능에 대응하는 한계상태는 제11편에서 다루기로 한다. 한계상태는 극한한계상태 (Ultimate limit status) 와 사용한계상태 (Serviceability limit status) 로 크게 나누어지며 각각의 내용[45]을 열거하면 다음과 같다.

① 종국극한한계상태

구조물의 내하성능 (내구성을 포함한) 혹은 변형성능에 관계된 한계상태로, 구체적으로는 다음과 같은 내용을 포함한다.

- 강체적안정한계
- 파괴한계
- 항복한계
- 변형한계
- 붕괴한계

② 사용한계상태

---

45) ISO2394, 1998

통상의 사용에 관련된 한계상태에서 구체적으로는 다음과 같은 내용을 포함한다.

- 손상한계 (손상에 따라 그 자체의 사용이 부적합)
- 진동한계 (사람에게 불안감, 불결감을 주는 진동)
- 균열한계 (사람에게 불안감, 불결감을 주는 균열)
- 변위한계 (정상적인 상태에서 사용하기에는 변위가 과대)
- 변형한계 (정상적인 상태에서 사용하기에는 변형이 과대)
- 피로한계 (반복하중에 따른 피로에 따라 사용성의 상실)

4. 터널분야 성능기준 개발을 위한 접근방법 및 개발방법

터널분야 성능 기준 개발을 위한 접근 방법으로 첫째, 재료별 핵심 성능으로 재료가 가지고 있는 특성을 중심으로 설계부터 유지관리 측면까지 시공성 및 안정성 경제성 등의 성능 기준을 마련하여야 하며, 둘째 터널의 사용성 및 유지관리 핵심 성능 개발 기준 정립 셋째 시공성을 중심으로 한 성능개발을 중점적으로 제시하였다. 아울러 터널의 본 기능인 원활한 교통기능을 가질 수 있는 도로선형 및 표고차 등의 성능 기반 설계기준 또한 고려되어야 하며, 시공재료 및 터널 자체의 수명을 고려한 성능 기반을 검토하여야 한다.

가. 성능 중심의 건설기술기준 작성지침 개발

(1) 재료별 핵심 성능

재료명		핵심성능						
		시공성	내구성	안정성	효율성	환경성	내진성	경제성
강지보재	규격 및 배치간격	o	o	o	o			o
	이음 개소	o	o	o	o			o
	강지보재 생략 유·무			o	o			o
락볼트	자체 항복하중 과 정착방법							
	사용 목적							
	재질과 형상 채택							
숏크리트		o	o	o	o	o	o	o

콘크리트 라이닝	재료 및 강도 (형상,두께)							
	역학적 기능							
	미관유지기능							
철망	강도 향상 및 숏크리트 박리방지	o	o	o	o			
	철망 생략 유·무	o			o			o

재료적 측면에서의 핵심성능 평가는 재료 자체의 특성과 재료가 이루는 단면형상이 가지는 특성으로 나눌 수 있으며, 재료의 사용한계상태에 이르지 않고 목표하는 강도를 이룰 수 있는 성능을 가져야 한다. 재료 단면의 특징은 내진에 관한 성능을 검토해야 한다. 재료적 성능은 또한 유지관리상의 성능을 위한 장기 변형 등의 성능 또한 만족하여야 하며, 시공상 경제적 측면의 성능 또한 고려하여야 한다. 근래에 많이 부각되고 있는 재료로 인한 환경 변화와 터널의 자립에도 미치는 성능 또한 검토하여야 한다. 또한 도로로서의 터널의 최우선 과제인 안정적인 측면의 사용자 중심의 터널의 성능을 건설의 효율성과 함께 검토하여야 한다. 현재 시공 중심의 시공성능에서 신재료나 신기술 등 창의성을 발휘할 수 있는 성능설계방안 또한 검토되어야 하며 시공재료의 내구연한을 터널 수명에 맞게 기능을 다 할 수 있는 재료의 선정 및 재료의 경제성을 복합적으로 검토 제시할 수 있어야 한다.

(가) 강지보재

① 강지보재는 다른 지보재(락볼트, 숏크리트 등)와의 일체가 되어 소요강도를 발휘할 수 있도록 충분한 내구성을 가져야하며 연성이 크고 용접이 가능하고 강지보 설치 후 숏크리트 타설이 용이할 수 있도록 시공성을 지녀야 한다. 또한 강지보재의 치수는 작용하중 외에 숏크리트 두께, 굴착공법, 굴착방법 등을 고려한 경제적이고 시공 효율성이 높일 수 있는 것이어야 한다.[46)]

② 강지보재는 운반, 거치 및 시공성과 효율성을 고려한 분할 제작하여야 하고 이음개소를 최소화하여 경제적이고 부재상호간 견고한 이음이 되도록 효과적이고 내구적이게 설계하여야 한다.

③ 지반이 양호하고 상·하반 분할 굴착을 시행할 경우 강지보재를 생략할 수 있다. 따라서 더욱 경제적이고 효율적인 시공이 가능하다.

(나) 락볼트

46) 건설교통부 터널설계기준, 1999

① 굴착으로 인한 응력해방에 따라 내공변위가 크게 발생할 경우에는 선단정착형 또는 혼합형의 록볼트 형식으로 프리스트레스를 도입할 수 있다. 이 경우 프리스트레스가 지속적으로 유지되어야 하며 록볼트 소요 강도의 80%이내가 되도록 내구성을 지녀야 하며 도입 유·무에 따른 복합적인 경제성과 그 효율성을 제고해봐야 한다. 또한 정착 재료에 따른 환경적 요인 또한 검토해야할 사항이다.[47]

② 락볼트의 원기능으로서의 봉합작용 외에 경우 따른 사용 목적의 다양화를 검토해야하며 이에 따른 경제적이고 효과적인 시공성을 지녀야 한다. 각각에 따라 보형성 작용, 내압작용, 아치 형성 작용, 지반보강 작용 등 작용효과와 지반의 항복 후 잔류강도의 향상을 도모할 수 있는 충분한 내구성 또한 가져야 한다.

③ 락볼트는 소요 강도 이상을 가지는 이형봉강으로 제작하는 것이 원칙이나. 이와 동일한 강도와 기능을 가지는 기타 소재들을 경제적으로 비교 검토하여 만족할 만한 내구성을 가진 경우 사용가능하다. 또한 사용 목적 및 원지반 조건에 따른 환경적 요인과 효율적 요인 등을 비교 분석하여 적절한 재료 선정 및 형상을 채택하여야 한다.

(다) 콘크리트 라이닝

① 충분한 소요 강도 및 내구성을 발휘 할 수 있는 내구성을 제고하여야 하며 철근 혹은 무근 콘크리트로의 사용 결정에 있어서 경제적인 검토 또한 이루어져야 한다. 또한 양호한 시공성을 염두 하여야 함은 물론이다.

② 콘크리트 라이닝은 터널 주변의 지반상태, 환경 등을 고려하여 사용목적에 적합하고 장기간 충분한 안정성을 가지는 내구성과 사용성을 지녀야 한다. 특히 콘크리트 라이닝의 첫 번째 목적인 구조체로서의 역학적 기능 즉 내구성과 안정성을 충분히 갖추어야 하며 주면 환경의 영향을 받기 쉬운 구조체인 만큼 환경적 요인 또한 검토가 이루어져야 한다. 비배수형 터널에서의 콘크리트 라이닝은 수압의 작용을 받는 구조체로서 수압을 고려한 충분한 내구성과 안정성을 가져야 하며, 방수형 터널과의 경제성과 환경성 또한 중요한 검토 사항이다.[48]

③ 콘크리트 라이닝의 미관 유지 기능으로서 사용자로 하여금 시각적 안정성과 심리적 안정을 최우선으로 함과 동시에 경제적이어야 한다.

(라) 철망

---

47) 건설교통부 터널표준시방서, 1999
48) 건설교통부 터널설계기준, 1999

① 숏크리트의 박리 방지를 목적으로 한 철망은 충분한 인장강도 및 전단강도와 같은 내구성을 지녀야 하며, 그 시공성에도 신경을 써야 한다.

② 섬유 보강 콘크리트를 사용할 경우 경제적인 측면과 시공적인 측면을 고려하여 철망을 생략할 수도 있다.

(2) 사용성 및 유지관리 측면 핵심 성능

사용성	항목	핵심성능					
		시공성	내구성	안정성	내연성	효율성	경제성
내화 성능	내화 성능	o	o	o	o		o
	방재 설비	o		o	o	o	o
조명 시설	철도 터널	o	o	o	o		
	지하철 터널	o	o	o	o		
	도로 터널	o	o	o	o		o
환기 시설	환기 방식	o	o	o	o	o	o
	환기량 산출					o	o
균열 방지 및 보수	온도 수축에 의한 균열	o	o	o		o	o
	보수·보강	o	o	o	o	o	o

삶의 질의 향상으로 인해 터널 또한 단순히 교통을 위한 도구로서 뿐만이 아니라 미관적, 기능적 요소를 가미해야 하며 동시에 쾌적한 환경을 제공해야 한다. 따라서 단순히 시공성과 경제성에만 주안점을 두었던 기존의 성능에 사용성을 추가하여 검토하여야 한다. 물론 이러한 사용성의 측면은 안정성이라는 중요한 성능 또한 포함한다.

(가) 내화성능

① 터널의 내화성능은 각 터널의 연장 및 사용 목적에 따라서 경제적이고 효율적인 재료로 사용되어야 하며, 충분한 내구성과 내화성을 가질 수 있는 재료를 검토해야 한다.

② 터널 화재시 갖추어야 할 방재 시설로서 터널의 사용 목적과 연장에 부합되는 설비를 갖추어야 하며 설치 개소 또한 경제적이고 효과적으로 검토해야 한다.

또한 피해 규모의 최소화를 위한 적절한 안정성을 발현할 수 있는 설비를 검토해야 하며, 비상시 사용이 용이하도록 사용성 측면의 강조와 충분한 내구성을 가질 수 있어야 한다.

(나) 조명시설

① 터널의 조명 시설은 터널의 사용목적에 따라서 경제적이고 효율적으로 구분되어져야 하며, 기본조명, 입구부 조명 및 출구부 조명으로 나누어 그 사용성과 효율성의 타당함과 적절함을 검토해야 한다. 또한 터널 특성에 맞는 운전자의 편의를 도모하는 사용성 또한 검토되어야 하며 갑작스런 정전 등으로 인한 불편함을 없앨 수 있는 비상조명등의 효율적 배치 또한 검토 대상이다.

② 철도 및 지하철 터널에서 조명시설의 열차 통과에 의한 진동 및 풍압에 의한 내구성과 안정성 검토와 알카리, 수분 등에 의한 내부식성 등을 검토하여야 한다. 또한 불필요한 조명의 개수를 줄일 수 있는 경제적인 조명의 운영 방안도 강구되어야 한다.

③ 전력구 혹은 통신구 터널등 기타 터널에서 조명은 비상시 작업자의 안전을 보장할 수 있을 만큼의 안정성과 평상시의 경제성 등을 복합적으로 검토해야 하며, 출구 혹은 특수부의 조명 역시 사용 목적과 빈도에 따라서 구분되어 검토되어야 하겠다.

(다) 환기 시설

① 터널의 사용 목적과 연장, 폭 등의 단면 특징을 고려한 안정적이고 경제적인 성능을 만족하는 환기 방식 선택이 검토되어야 하며, 설계 환기량 소요 예측 시 터널 특징으로 인한 통과 차종의 특징 및 통과 빈도수 등의 정확한 예측 자료를 바탕으로 한 효율적인 환기량을 예측하여야 한다.

② 터널의 환기 방식은 터널의 길이, 소요환기량 등 기본적인 조건을 바탕으로 교통조건, 지형, 지물, 지반조건, 환기의 질적 필요성, 환경조건, 유지관리 등을 복합적으로 고려하여 사용성이 충분하고 효율적인 방식으로 결정 운용해야 한다. 또한 비상시 안정성에 대한 검토 또한 이루어져야 한다.[49]

(라) 균열 방지 및 보수

① 터널 라이닝의 균열의 요인으로 콘크리트 경화온도 강항에 따른 온도 신축과

49) 한국도로공사 고속도로공사 전문시방서, 2005

터널 내 온도 변화에 따른 온도 신축, 습도 저하에 따른 건조 수축 등을 사전 예측하여 균열 방지 대책을 강구해야 한다. 이는 곧 소비자에게 시각적 안정성과 사용성을 제공해줄 수 있을 뿐만 아니라 구조적 내구성 향상도 기대할 수 있다. 다만, 균열 방지를 위한 보강에서의 경제성과 효율성측면은 고려해야 한다.[50]

② 터널의 균열 발생 시 보수, 보강 대책으로 차후 안정성과 보강방법의 경제성을 검토하여야 하며, 보강 시 소비자에게 줄 수 있는 불편 및 경제적인 손실을 최소화하여 보강할 수 있는 효율적이고 경제적인 방법을 검토하여야 한다.

(3) 시공 측면 핵심성능

시공	항목	핵심성능				
		시공성	안정성	효율성	환경성	경제성
단면형상		o	o	o		o
굴착방법	인력 굴착	o		o		o
	기계 굴착	o	o	o		o
	발파 굴착	o	o	o	o	o
굴착순서	전면 굴착	o	o	o		o
	분할 굴착	o	o	o		o
여굴방지 및 버럭처리			o	o		o
보조공법		o	o		o	o
방수 및 배수	방수(비배수)	o	o	o	o	o
	배수	o	o	o	o	o

시공 측면에서의 고려해야할 사항으로 먼저 터널의 자립도를 높이는 것으로서 이것은 지반 스스로 발휘할 수 있는 자립도를 최대한 활용하고 시공이 용이하게 하는 것으로부터 출발한다. 이러한 자립도를 최대한 이용하기 위하여 시공성 측면에서 성능을 검토하여야 하며, 그럼으로써 단면형상, 굴착 방법 및 순서 또한 이러한 목적에 부합할 수 있는 성능을 만족시켜야 한다. 또한 이러한 방법으로 인한 성능의 만족은 곧 환경성 또한 만족시키는 성능을 발휘 할 것이다.

50) 한국도로공사 숏크리트 관련 품질기준, 2002

(가) 단면형상

굴착전 사전 충분한 지반조사를 통한 막장 자립도와 측압 등을 안정적으로 검토한 후 시공성과 경제성을 염두에 둔 여러 가지 단면 형상을 터널 굴착 최적의 성능을 가지는 단면으로 선정하고 설계하여야 한다.

(나) 굴착순서 및 방법

① 굴착 방법은 막장의 자립성과 원지반이 지보능력, 지표면 침하 허용 값들을 충분히 사전 조사한 후 시공적, 안정적 측면의 시공성능을 만족하여야 하며, 경제적인 성능과 복합적으로 검토하여야 한다. 다만, 굴착 방법 선정 시 적용하는 단면의 크기에 대한 타당한 성능 기준 근거 자료가 정립되어야 한다.

② 굴착 순서는 충분한 지반 조사가 필요하며 적용단면에 해당하는 확실한 지반조사 지표가 기준에 맞게 제시되어야 안정성 측면에서 성능 기준을 만족할 것이며, 단면 선정 후 후속 지보재 등의 설치 등으로 인한 경제적인 성능 측면과 비교 검토해야 한다.

(다) 여굴 방지 및 버럭 처리

① 터널 굴착시 과다한 여굴의 발생의 터널의 안정성과 밀접한 관계를 가지고 있으므로 터널의 안정성을 위하여 최소한의 여굴 발생을 목표로 한다. 그러기 위해선 우선 앞서 제시한 터널 굴착의 방법 및 순서를 적절한 성능 기준에 맞게 정립하여야 하며, 과다 여굴 발생 시 보강에 대한 경제적인 손실과 굴착 방법의 과다 설계 등으로 인한 손실을 비교 검토하여 최적의 안정적이고 경제적인 성능 기준을 마련하여야 한다.

(라) 보조공법

터널의 내구 수명의 예측과 그에 맞는 경제적인 보조공법을 선택할 성능 기준의 적립이 필요하며, 보조 공법의 목표인 안정성에 초점을 맞추되, 그에 맞는 적절하고 타당한 경제성과 시공성 또한 부합되어야 한다. 또한 보조공법으로 인하여 발생할 수 있는 환경적인 영향 또한 검토하는 성능 기준의 적립이 필요하다.

(마) 방수 및 배수

① 방수형 터널은 터널내부에 지하수의 유입을 완전히 차단함으로 모든 작용수압을 콘크리트 라이닝이 받게 된다. 따라서 방수형 터널을 고려할 때에는 터널 콘크리트 라이닝과의 연관성을 최우선의 성능 기준으로 산정하여야 하며, 라이닝의 경제성과 안정성 모두 만족하는 성능 기준을 정립해야 한다.

② 배수형 터널 선정시 터널의 사용 목적, 지반조건 지하수 조건 등 터널 안정성에 미치는 성능을 검토해야 하며 경제성과 시공성 역시 고려한 성능 기준을 마련해야 한다.[51]

③ 하저 혹은 해저 터널의 공사 시 가장 문제가 되고 있는 수압의 작용과 침투수의 적절한 처리를 위한 방·배수 공법 및 시공에서는 무엇보다 철저하고 안정적인 안정성 중심의 성능 기준이 요구되며, 과도한 공사비로 인한 건설코스트의 과다 지출 또한 점검해야 할 성능 기준의 하나이다.

5. 터널분야 성능기준 작성지침

가. 숏크리트

건설교통부에서 제정한 터널표준시방서(1999)와 터널설계기준(1999)에 숏크리트의 내구성 및 강도, 시공성, 두께 등에 대해 규정되어 있으나 휨강도 및 휨인성 등에 대한 규정이 제시되어 있지 않고 숏크리트 재료에 대한 정량적인 지침도 부족한 실정이다. 또한 외국의 성능 숏크리트에 대한 기준과 비교할 때 국내의 기준이 다소 낮은 수준이며 숏크리트 재료 및 제반 품질관리 시험에 대한 규정이 부족한 실정이다. 특히 최근에 큰 문제로 대두되었던 숏크리트 강섬유에 대해서도 외국과 같이 휨강도나 휨인성과 같은 성능기반(performance-based) 기준보다는 강섬유 혼입량에 근거하여 관리하고 있는 한계를 내포하고 있다. 아래 표는 전세계적으로 강섬유 보강 숏크리트의 성능 기준을 명확히 제시하고 있으며, 강섬유 혼입량으로 숏크리트의 품질관리를 하고 있는 국가는 없다.

표 3.73 국내 숏크리트 강섬유 관련 시방 및 기준

관련 시방 또는 기준	강섬유 혼입량	휨강도 (MPa)	등가휨강도/휨강도 (%)
철도공사 전문시방서	용적비: 0.5~1.5%	-	-
철도설계편람	용적비: 1~2% 중량비: 3~6%	-	-

51) 건설교통부 터널설계기준, 1999

고속철도공사 전문시방서	40 kg/m^3 이상	-	68 이상
도로설계편람	용적비: 1~2% 중량비: 3~6%	-	-
도로설계요령	용적비: 0.5~1.5%	-	-
도로공사 표준시방서	40 kg/m^3 이상	4.5	68 이상
고속도로공사 전문시방서	40 kg/m^3 이상	4.4	68 이상

예를 들어 유럽 통합기준인 EFNARC에서는 강섬유보강 숏크리트의 인성(toughness)을 잔류강도등급 (빔 시험)이나 에너지흡수등급 (평판 시험)으로 규정하고 있다. (EFNARC, 1996). 숏크리트에 대한 총 5개의 잔류강도등급 (residual strength class)은 빔 응력/처짐 곡선의 형태[52]에 근거하여 아래 그림과 같이 정의된다.

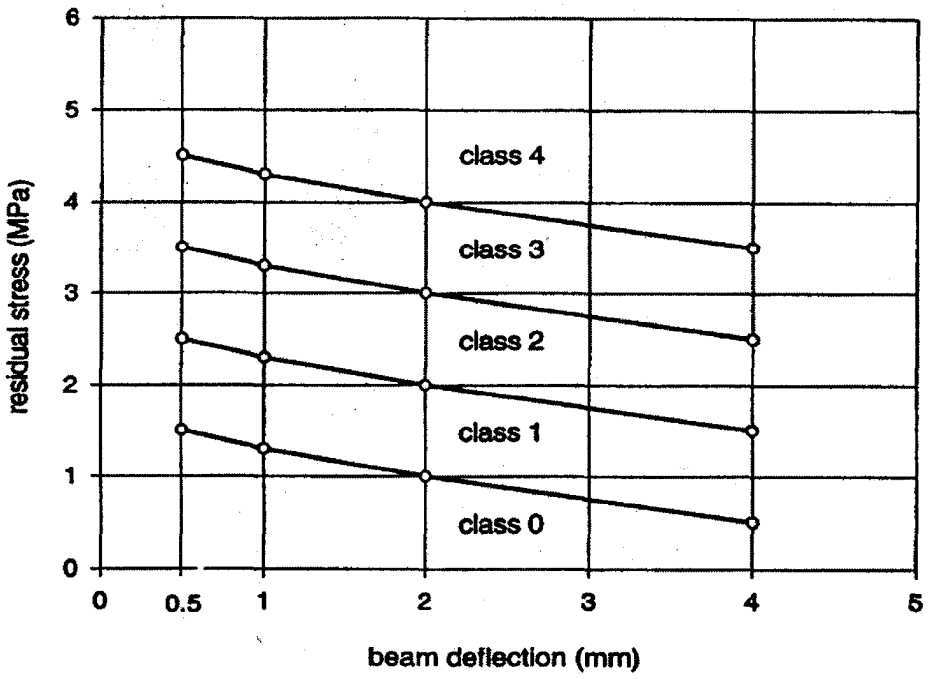


그림 3.51 EFNARC의 잔류강도등급

에너지흡수등급(energy absorption class)은 규정된 평판시험을 수행한 뒤 아래

52) EFNARC, 'European Specification for Sprayed Concrete, European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures', 1996

표에 제시된 기준들에 근거하여 평가될 수 있다.

표 3.74 EFNARC의 에너지흡수등급

인성 분류	25mm까지의 처짐에 대한 에너지 흡수 (J)
a	500
b	700
c	1000

ASTM C1116-89에 따르면 숏크리트의 다양한 성능 수준에 대한 인성 값들은 다음 표와 같다(ASTM, 1989). 일반적으로 I~III 등급을 적용하며 IV등급은 표면이 변형되어 있거나 끝부분에 anchorage가 있는 섬유가 많은 경우에만 적용한다.

표 3.75 ASTM의 숏크리트 휨인성 기준

등급	인성지수, I_5	인성지수, I_{10}
	규정치	규정치
I	2.7	5.4
II	3.6	7.2
III	4.5	9.0
IV	5.4	10.8

기타 문헌에 제시되어 있는 휨인성 값들을 정리하면 표 3.76과 같으며, 많은 현장시험 등을 통해 Vandewalle (1991)이 제안한 기준은 표 3.77과 같다.

표 3.76 국외의 제반 숏크리트 인성 기준

휨인성지수	양생일수	값	출처
I_5	7 -* 28	3.5 3.5 5.0	SANCOT(1991) Morgan(1991) JCI(1991)
I_{10}	7 -* -* 28 28	5.0 5.0 7.0(C25인 경우) 7.0 8.0	SANCOT(1991) Morgan(1991) EFNARC(1992) Swedish National Rescue Services Board JCI(1991)
I_{20}	-*	10.0	EFNARC(1992)

		(C25, 35, 45인 경우)	
I_{30}	-* 28 28	14.0 19.0 21.0	Morgan(1991) JCI(1991) Swedish National Rescue Services Board
$\frac{R_{5,10}}{100} \times f_s$	-*	4.0 MPa**	스웨덴 철도청(1991)
$\frac{R_{10,30}}{100} \times f_s$	-*	2.5 MPa**	스웨덴 철도청(1991)
* 규정되어 있지 않음 ** 일반적인 시험에 대한 요구조건 SANCOT: South African National Council on Tunnelling			

표 3.77 Vandewalle (1991)이 제안한 강섬유보강 숏크리트의 인성 등급

분류	등급	I_{10}	I_{30}	$R_{30/10}$
I	최저	< 4	< 12	< 40
II	보통	4	12	40
III	우수	6	18	60
IV	매우 우수	8	24	80

이와 같은 압축강도, 휨강도 및 인성 기준 이외에도 선진국에서는 숏크리트 라이닝의 성능에 영향을 미치는 재료 특성으로서 부착력, 투수계수, 동결저항 등을 고려하여 이에 대한 규정들이 제시되어 있다.

EFNARC에서는 숏크리트와 암석 사이의 부착력에 대해 표 3.78에 제시된 값들을 규정하고 있다. 이 표에 제시된 값들은 재령 28일에서 3개의 시료로부터 얻어진 평균값들이며, 어떠한 값도 기준값의 75%보다 작아서는 안 된다.[53]

기타 문헌들에 제시되어 있는 부착력들에 대한 추천사항들을 정리하면 표 3.79와 같다.

표 3.78 EFNARC의 부착력 기준 (최소 기준)

보강 유형	콘크리트에 대한 최소 부착력 (MPa)	암석에 대한 최소 부착력 (MPa)
비구조적 기능	0.5	0.1
구조적 기능	1.0	0.5

53) EFNARC, 'European Specification for Sprayed Concrete, European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures', 1996

표 3.79 숏크리트 부착력에 대한 추천사항들

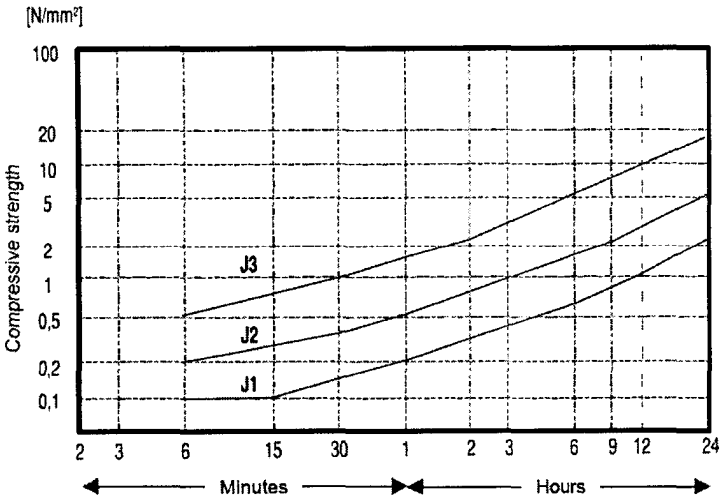
접착유형	추천사항	출처
숏크리트/암석	0.5 MPa 이상	Swedish Railroad Dept. (1991)
	0.5 MPa 이상 (구조적 기능) 0.1 MPa 이상 (비구조적 기능)	EFNARC (1992)
	견고한 건조 화강암의 경우, 가능하면 1.4 MPa까지	Vandewalle (1991)
콘크리트/콘크리트	0.5 MPa 이상 (재령28일, 구조적기능) 0.1 MPa 이상 (비구조적 기능)	EFNARC (1992)
	1.0 MPa 이상	Swedish Railroad Dept. (1991)
	2.0 MPa 이상 (재령28일)	AFTES (1992)

수밀 숏크리트가 요구되는 경우, 숏크리트의 수밀성(water-tightness)은 투수계수를 측정하여 결정될 수 있다. 숏크리트는 투수계수가 10^{-12} m/s보다 작을 때 수밀성을 가지는 것으로 고려된다.(EFNARC, 1996)

이외에도 내구성의 지표로서 동결저항을 품질기준으로 사용할 수 있다. 염분이 없는 보통 정도의 포화상태에서 동결 및 융해과정에 놓인 숏크리트에 대해 동결저항시험을 수행할 수 있다.

또한 오스트리아 등의 선진국에서는 장기강도 이외에도 다음 그림과 같이 조기재령의 숏크리트 강도 기준[54]을 별도로 마련하여 관리하고 있는 실정이다. 하지만 국내에서는 재령 1일 이전의 조기강도에 대한 기준뿐만 아니라 조기강도를 측정하기 위한 시험방법도 검토되지 못하고 있다. 이를 위해 외국에서는 인발시험, 침 관입시험, 화약의 폭발력을 이용하는 pin 관입시험, 슈미트해머 시험 등을 적용하고 있으나, 시험과정이 어렵거나 측정 가능한 강도범위가 낮고 시험결과의 신뢰성이 떨어지는 등의 문제점을 가지고 있다.[55] 이 가운데 화약의 폭발력을 이용하는 pin 관입시험은 단순하며 낮은 강도에서 고강도까지 숏크리트 강도를 추정할 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만 화약을 사용하기 때문에 pin 관입시험을 수행하기 위해서는 총포화약류 면허를 소지해야 하며 사용상 위험한 상황이 발생될 수 있다. 이러한 단점들을 보완하고자 일본에서는 화약의 폭발력 대신 고압의 압축강도를 사용하는 공기압식 pin 관입시험법(pneumatic pin penetration test)이 제안되었고, 현재 일본도로공단의 숏크리트 강도시험법으로 규정되어 있다.

54) Austrian Sprayed Concrete Guideline, 1999
55) Iwaki, 2001



Sprayed Concrete Class	Application
J_1	Sprayed concrete suitable for the placing of thin layers on a dry base without special load bearing requirements to be met during the first hours after placing; it offers the advantages of low dust formation and rebound.
J_2	Sprayed concrete that is required to be placed as quickly as possible in thick layers (including overhead). Additionally, sprayed concrete can be applied to water bearing ground, and sections of lining that are immediately adjacent to construction operations involving immediate stress and strain changes, such as new excavations or spiling. In normal tunnel conditions J_2 should not be exceeded.
J_3	Sprayed concrete for support to highly friable rock or excessive ingress of water. Due to the high level of dust and rebound, this class should only be used in limited areas.

그림 3.52 조기재령 숏크리트 강도 기준(Austrian Sprayed Concrete Guideline, 1999)

이상과 같이 숏크리트에 요구되는 다양한 성능 기준을 평가하기 위해 적용되고 있는 국외의 품질시험 방법과 항목을 정리하면 다음의 표와 같다. 위와 같이 국외의 경우를 살펴보고 우리나라 실정에 맞는 휨강도 및 휨인성 등에 대한 규정 및 숏크리트 재료에 대한 정량적인 지침도 제시할 것이다.

표 3.80 국외의 숏크리트 품질시험 항목

Ages		Test items		Europe	Japan
Fresh concrete	Wet-mix	Consistency		○	○
		Air content		○	△
		Specific gravity		○	○
	Dry-mix	Water/Cement ratio		○	○
	Steel fiber reinforced	Fiber content		○	□
		Slump		○	○
		Air content		○	△
		Specific gravity		○	○
< 24 hours	Compressive strength	Pull-out test		○	○
		Schmidt hammer test		○	△
		Compression test by beam specimens		-	○
		Modified penetration test		○	-
		Pin penetration test		○	-
		Pneumatic pin penetration test		-	○
> 24 hours	Quality control	Compressive	Boring core	○	○

		strength	Beam mould	-	○
	Mechanical properties	Tensile strength	Indirect tensile test	○	△
			Direct tensile test	○	-
		Bond test		○	-
		Flexural strength		○	□
		Flexural toughness		○	□
		Shear strength		-	△
	Others	Frost resistance		○	-
		Density		○	○
		Chemical resistance		○	-
		Permeability		○	-

Note) ○: General, △: Rare, □: Only for high strength and steel fiber reinforced shotcrete -: None

나. 내화성능

각국은 실제 화재실험과 결과와 화재사고 경험을 통해 다양한 터널 내화성능의 기준을 제시하고 있다. 먼저 각국의 내화성능에 대한 관련 규제기준을 살펴보면 아래 표와 같다.

표 3.81 각국의 내화성능 기준 비교(N.P. Hoi, 2004)

국가	기준	요구수준
독일	ZTV 1	• 아치형 혹은 원형 터널구조물에 대한 방호 필요성은 구조물에 대한 최소한의 요구사항과 계산서에 준해서 확보되어야 한다. 일반적으로 다른 화재방호가 없다면 6cm 정도의(터널 내)피복이 요구된다.
독일	ZTV 2	• 사각단면 터널구조물에 대한 방호 필요성은 구조적 최소 요구사항과 계산서에 준해서 확보되어야 한다. • 구조물 대책으로 철근은 30℃ 이상의 온도에서 보호되어야 한다. 아연 도금된 철망이 (벽면으로부터) 떨어져 나오는 현상에 대한 보호로써 피복 내에 배치되어야 하며 철근에 대한 최소한의 피복은 6cm이다.
프랑스	Circ2000 -63A2	• 구조물로 요구되는 내화성능은 다음의 주요 목표를 달성하도록 설계되어야 한다. -피난시설로 진입한 이용자들의 보호는 그들이 출구로 나갈 수 있도록 요구되는 시간은 60분, 이용자들의 보호는 120분, 화재 진압팀을 곤경에 빠뜨리지 않기 위해서 20분 정도, 모든 환경에서 화재의 최대지속 시간은 표준 온도곡선에 대해 240분, 추가 HC

		곡선에 대해서는 120분에 맞추어져야 한다.
영국	BD78/99	• 터널 구조물이나 관련된 덕트 그리고 수직갱 등에 대한 화재효과는 주위 깊게 평가되어야 한다. • 화재설계에 의존해서 구조물에 대한 추가적인 화재방호 피복층(layers)은 요구되지 않을 수 있다. • 150℃의 콘크리트 천정으로부터 콘크리트의 박리(spaling)를 감소할 대책이 적용되어져야 한다.
노르웨이	Road Tunnels	• 구조물에 대해 요구되는 화재하중 터널은 AADT가 10,000 미만에서는 5MW, AATD가 10,000 이상에서는 20MW에 대한 화재하중으로 설계되어야 한다. 구조적 붕괴의 위험을 가진 터널에 있어 설계화재하중은 별도로 평가되어야 한다.
오스트리아	RVS	• 중간 천정(Intermediale ceilings)은 화재등급 F90(90분 내화)에 따른 내화성능을 가져야 한다.

각 나라별로 다소 다른 규정으로 내화기준을 정의하고 있지만, 크게 화재온도 곡선 및 지속시간, 내화피복층의 두께 그리고 화재하중 등으로 구분하고 있다. 먼저 독일은 일반적은 내화 피복층의 두께를 6cm 이상 확보하도록 규정하고 있으며, 프랑스 (Circ2000-63A2)는 각 피난 구조물별로 화재 온도곡선 및 지속시간을 상세히 규정하고 있다. 이러한 규정은 구조물 자체의 물리적 특성뿐만 아니라 피난 및 소방을 위한 인명특성을 고려하고 있다는 점에서 다른 나라들의 기준들 보다 상당히 강화된 내화기준으로 평가되어 진다. 그리고 오스트리아는 90분 내화지속시간을 영국은 환기방식 등을 고려한 화재영향 분석 후 피복재라든지 구조물의 화재온도에 대한 박리가 일어나지 않을 대책을 강구하도록 규정하고 있다. 반면 노르웨이(Road tunnels)는 구조물에 대하여 교통량(AADT)에 따른 설계 화재하중(MW)에 준하는 내화기준으로 적용하도록 되어 있는데, 이는 구조물에 대한 별도의 내화기준이 없는 국내의 설계실정과 비슷한 내화설계 경향을 보여준다.

표 3.82는 국제도로상설회의 (PIARC, Permanent International Association of Road Congresses)의 설계 기준용 지침이다. 이 표는 교통형식과 터널구조물의 형태에 따른 온도곡선과 내화시간을 규정하고 있다. 그러나 PIARC의 권고안에는 다중차량 화재에 대한 언급이 없다. Ingason(2001)은 실제 터널 화재사고는 PIARC에서 제시하는 값보다 2~3배 큰 HRR 값을 보일 수 있으며 이에 따라 인접한 중차량으로 화재가 쉽게 확산되는 잠재적 위험을 지적하고 있다.

국제 터널 학회(ITA, International Tunnelling Association)도 PIARC의 기준과

각국의 기준들을 비교한 결과를 표 3.83과 같은 성능을 제안하고 있다.[56] 참고적으로 차량 타입에 따른 유형구분에서, 구분 1은 HGV가 없는 승용차만의 화재사고를 구분 2는 대형 로리(Lorry)와 같은 HGV화재사고를 의미한다.

PIARC 이나 ITA의 권장사항[57]을 고려할 경우, 대체적으로 낮은 화재규모(승용차량 화재)로 계획되는 터널의 내화시간은 60분 정도, 상대적으로 높은 화재규모(트럭화재)로 계획되는 터널은 내화시간 120분 정도로 나타나고 있다. 그러나 대피안전 화견이 좋은 경우(즉, 터널본선에서 외부로 연결되는 탈출구가 있을 경우)는 내화시간이 낮아져 ISO 30분을 권장하고 있다. 반면 PIARC의 권장사항은 다중차량 화재 특성을 고려하고 있는데, 수중(침매)터널이나 불안정한 지반상태의 터널일수록 상대적으로 높은 3시간 정도의 내화시간을 권장하고 있다.

표 3.82 내화성능에 대한 PIARC 권고(PIARC, 1999)

교통형식	주요 구조물				지하 구조물			
	침매터널 혹은 구조물하부 통과형터널	불안정 지반의 터널	안정 지반의 터널	개착식 터널	환기덕트	복개터널	상대터널로 연결된 비상 탈출고	쉘터
승용차/밴	ISO 60분	ISO 60분	2	2	ISO 60분	ISO 30분	ISO 60분	ISO 60분
트럭/앵커	RWS/HCinc 120분	RWS/HCinc 120분	3	3	ISO 120분	ISO 30분	RWS/HCinc 120분	RWS/HCinc 120분

1. 가연성 물품을 수송하는 HGV의 교통량이 매우 많으면 180분이 요구될 것이다.
2. 안전은 기준이 아니고, (연속붕괴를 회피하기 위해) 어떤 내화성능도 요구하지 않는다. 다른 목적들을 설명하기 위해 다음이 요구될 것이다.
   - 대부분 ISO 60분을 적용한다.
   - 수입에 비해 화재로 인한 수리비용이 상대적으로 크다면 모는 방호는 요구되지 않는다.
3. 안전은 기준이 아니고, (연속붕괴를 회피하기 위해) 어떤 내화성능도 요구하지 않는다. 다른 목적들을 설명하기 위해 다음이 요구될 것이다.
   - 도로망과 재산에 큰 영향을 주기 때문에 강력한 보호가 요구된다면 RWS/HCinc 120

56) International Tunnelling Association Guideline, 2004
57) Permanent International Association of Road Congresses Basis Design Guideline, 1999

분을 적용한다.

- 대부분의 경우 ISO 120분이 재산상의 손실을 줄이기 위해 합리적으로 제공된다.
- 수입에 비해 화재로 인한 수리비용이 상대적으로 크다면 모든 방호는 요구되지 않는다.

4. 다른 2차적인 구조물은 목적에 기초해서 정해진다.
5. 횡류식 환기방식의 경우
6. 대피소(셀터)는 외기와 연결되어야 한다.
7. 만약 가연성 물품을 운반하는 HGV 통행이 많은 경우와 대피소에서 120분 내에 피난이 어려운 경우 더 긴 시간이 사용될 수 있다.

표 3.83 내화성능에 대한 ITA 권고 (ITA, 2004)

구분	화재차량 대수	침매터널	불안정 지반의 터널	안전 지반의 터널	개착식 터널	복개 터널	외부 연결 탈출구	상대 터널 연결 탈출구	셀터
1	1-2	ISO 60분	ISO 60분	2	2	ISO 60분	ISO 30분	ISO 60분	ISO 60분
1	>3	ISO 60분	ISO 60분	2	2	ISO 60분	ISO 30분	ISO 60분	ISO 60분
2	1-2	RWS/HCinc 2시간	RWS/HCinc 2시간	3	3	ISO 2시간	ISO 30분	RWS/HCinc 2시간	RWS/HCinc 2시간
2	>3	RWS/HCinc 3시간	RWS/HCinc 3시간	3	3	ISO 2시간	ISO 30분	RWS/HCinc 2시간	RWS/HCinc 2시간

1. 안전은 기준이 아니고, (연속붕괴를 회피하기 위해) 어떤 내화성능도 요구하지 않는다. 다른 목적들을 설명하기 위해 다음이 요구될 것이다.

- 대부분 ISO 60분을 적용한다.
- 수입에 비해 화재로 인한 수리비용이 상대적으로 크다면 모든 방호는 요구되지 않는다.

2. 안전은 기준이 아니고, (연속붕괴를 회피하기 위해) 어떤 내화성능도 요구하지 않는다. 다른 목적들을 설명하기 위해 다음이 요구될 것이다.

- 도로망과 재산에 큰 영향을 주기 때문에 강력한 보호가 요구된다면 RWS/HCinc 120분을 적용한다.
- 대부분의 경우 ISO 120분이 재산상의 손실을 줄이기 위해 합리적으로 제공된다.
- 수입에 비해 화재로 인한 수리비용이 상대적으로 크다면 모든 방호는 요구되지 않는다.

터널에 적용되고 있는 화재시나리오는 다음 그림과 같이 다양하나, 전세계적으로 대표적인 화재시나리오로는 RABT와 RWS를 들 수 있다. RABT(Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln)는 독일 교통성 도로건설부에서 규정하고 있는 터널 화재시나리오이며, RWS(RijksWaterStaat)는 네덜란드 운수공공사업성 치수본국에서 규정하고 있는 터널 화재 시나리오이다. 두 시나리오 모두 폐쇄된 지하공간의 특성상 대형화재 발생시 온도가 급격히 상승하는 것을 모사하기 위하여 화재 개시 후 약 5분이 경과되면 1,200℃이상의 고온에 도달하는 것으로 규정하고 있다.

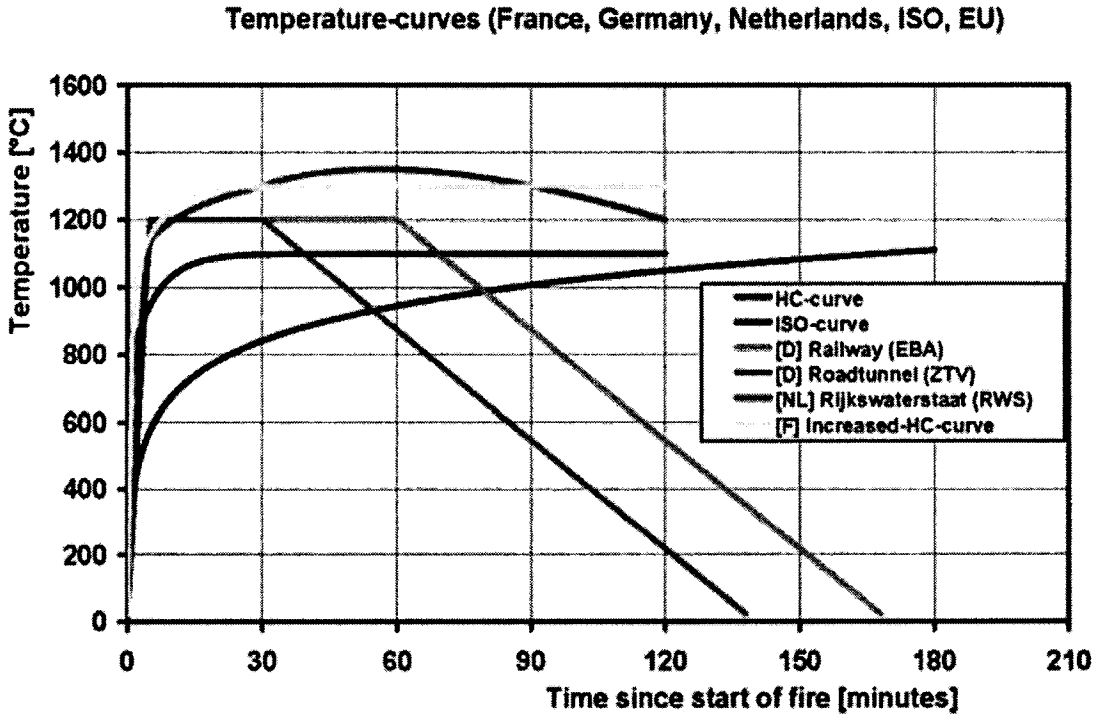


그림 3.53 터널에 대한 다양한 온도이력곡선

화재로부터 도로터널을 보호하기 위한 최상의 방법은 터널에 사용되는 다양한 요소들에 대한 내화대책에 대한 지침을 제시하는 것이다. 이러한 이유는 터널에는 많은 부속 시스템들과 다양한 내부 구조 요소들이 포함되어 있기 때문에, 모든 종류들을 규정하고 그들에 대한 특정 내화 시스템을 제시하는 것이 불가능하기 때문이다.

(1) 국내 내화성능 기준에 관한 제안

반면 국내에서는 아직 내화성능에 대한 기준이 마련되어 있지 못한 상태이다. 이것은 기존터널이나 새로운 터널이 화재에 저항하는 능력이 전혀 갖지 못한다는 것을 의미하지는 않는다. 다만 내화성능의 목적과 수준에 대한 합의가 없는 상태에서 요구되는 각 터널의 실제적인 내화성능에 대한 신뢰성을 가질 수 없다는 것이다. 따라서 향후 이에 대한 심도 있는 실물 및 이론연구가 필요할 것으로 보인다.

외국의 기존 외국 내화성능평가 기준을 고려하여 다음과 같이 터널별 화재온도곡선과 내화시간을 제안하고자 한다. 제안은 각국의 터널특성, 교통특성, 지리(지반)특성 등에 기초한 내화성능 평가기준을 고려한 분석 결과이다.

도로터널과 관련하여, HGV 차량이나 위험물 수송차량이 통과하지 않은 터널의 경우는 ISO 834 표준 화재 온도곡선에 의한 1시간 이상의 내화성능이 필요할 것으로 분석된다. 이는 일반적인 승용차량의 화재시험의 결과에서 제시된 온도 및 지속시간이 모든 실험에서 60분 이내에서 관측되고 있으므로 ISO 표준곡선의 1시간 내화로 충분할 것으로 보인다.

반면 이러한 HGV나 위험물 수송차량이 통과할 경우 HC 곡선에 의한 2시간 이상의 내화성능이 필요할 것으로 분석된다. 실제 Eureka 프로젝트 및 Runehamar 터널 화재실험에서 모두 의미 있게 지속되는 화재지속 시간은 1시간 미만이었다. 그러나 위험물 탱크로리의 경우 화재지속시간은 위험물의 방출시간에 의존하며 대략 100MW 정도의 화재의 연소율은 약 2.7kg/s 정도로 보고되고 있으며, 20톤의 액체가 방출되는데 소요되는 시간은 약 2시간 (=20,000/2.7=7,407초) 정도이다.

그리고 침매 혹은 하저터널 형의 수중터널인 경우는 차량형태에 관계없이 RWS 곡선에 기초한 2시간 이상의 내화성능이 필요할 것으로 분석된다. 이는 수중터널이 붕괴의 위험과 접근성의 문제가 동시에 발생되는 곳으로 더 높은 안전율을 가져야 할 것으로 분석된다. 특히 그 형상이 아래로 굽은 U자 형상이므로 접근성이 매우 어려운 곳이라고 볼 수 있다.

다음으로 지하철 터널인 경우는 ZTV 곡선에 기초한 1시간 이상의 내화성능이 필요할 것으로 분석된다. 이는 대부분의 지하철이 도심지내에서 운행하고 있으므로 소방대의 접근성이 용이하다는 점과 현재 출고되는 대두분의 차량이 난연성(불연성) 재료에 의한 철재본체로 구성되어 있어 기존의 알루미늄 차량보다는 화재온도 상승이 크지 않은 점을 고려한 것이다. 그러나 대구지하철 화재처럼 다중차량을 포함하는 화재가 예상되는 경우는 이보다 긴 내화시간이 적용되어야 할 것으로 보인

다.

일반적인 철도터널 차량의 경우는 지하철 차량보다 상대적으로 긴 차량길이 특성을 보이므로 ZTV 곡선보다는 지속시간이 긴 EBA 곡선에 기초한 2시간 이상의 내화성능이 필요할 것으로 분석된다. 이는 차량 특성상 차량의 편성길이가 길다는 점 이외에도 화재시 화재온도가 최고 정점에 도달하는 시간(Flash over time)이 길고 화재지속시간이 지하철 차량에 비해 길다는 점을 고려한 것이다. 또한 지리적 특성상 소방대의 접근이 지연될 것으로 예상되므로 지하철 터널보다는 긴 내화지속시간이 요구되어 진다. 반면 철도터널은 사고발생 확률이 도록터널이나 지하철 너널에 비해 극히 낮은 편이므로 경제성 등을 고려하여 RWS 곡선은 요구되지 않는다. 그러나 교행운전이 요구되는 단선터널은 다중차량에 의한 화재가 예상되므로 이때는 이보다 긴 내화시간이 적용되어야 할 것으로 보인다.

터널 화재시 터널 구조물의 내화성능 평가는 터널 화재의 특성에 따라 섬유질 RP 가연물의 구획 내 화재에 기초한 화재온도 기준과는 상이한 화재온도 기준에 기초해야 할 필요성이 있다. 아직까지 국내에는 터널구조물의 내화성능에 대한 기준이 마련되어 있지 않지만, 외국의 기준 또는 권고안을 기초로 하여 국내 터널 특성을 고려한 평가기준과 온도곡선이 마련되어야 할 것이다.

또한 터널 구조물에 대한 각 요소에 대한 내화규정의 마련이 향후 추가 연구를 통해 기준으로 정립될 필요성이 제기되고 있다. 특히 터널 화재의 대형화 경향을 고려하여 향후 제시될 국내 기준이나 권고안은 단일차량의 화재모델뿐만 아니라 다중차량의 화재모델을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

1. 도로터널
(1) 대형 화물트럭과 위험물 수송 트레일러가 통과하지 않는 경우에는 ISO 834 표준화재온도곡선, 1시간 이상의 내화시간
(2) 통과가 허용되는 경우에는 HC곡선, 2시간 이상의 내화시간
(3) 수중터널인 경우 RWS 곡선에 기초한 2시간 이상의 내화시간을 제안한다.
2. 지하철터널인 경우 ZTV 곡선에 기초한 1시간 이상의 내화시간을 제안한다.
3. 철도터널의 경우 EBA 곡선에 기초한 2시간 이상의 내화시간을 제안한다.

터널 본체를 제외한 기타 요소들에 대한 세부규정은 국내 기술여건 (시공성, 경제성)등을 고려하여 향후 제시할 것이다.

제 6 절 조경분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발

1. 조경분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 분석

가. 평가지표에 의한 작성지침

(1) 공공청사의 성능기준[58)]

일본의 국토교통성은 2006년 3월 31일부로 공공청사의 기본적 성능기준을 제정하였는데, 이 기준은 국가기관의 건축물 혹은 부대시설의 개보수들을 시행할 때 적용하거나 공공청사의 성능수준이나 기술적 사항 및 검증방법을 정해 공공청사로서 갖추어야만 할 성능을 확보하는 것을 목적으로 하고 있다. 이 기준 중 조경분야와 관련된 부분을 발췌해 보면 다음과 같다.

(가) 공공청사의 기본적 성능 항목

공공청사의 기본적 성능 항목은 다음 표와 같이 정리할 수 있다.

표 3.84 공공청사의 기본적 성능 항목

분류	요구성능	성능기준
사회성	지역성	지역성
	경관성	경관성
환경보전성	환경부하저감성	구조물의 수명
		적정사용, 적정 처리
		생태적인 소재
		에너지 및 자원 절감
	주변환경보전성	지역생태계보전
		주변환경배려
안전성	방재성	지진대비,화재대비
		침수대비,풍해방지
		설해 및 냉해 대비
	기능유지성	기능유지성
	방범성	방범성

58) http://www.mlit.go.jp/gobuild/kijun/perform/perform.pdf

기능성	편리성	이동성
		조작성
	디자인	디자인
	쾌적성	일조환경
		열환경
		공기의 질
		위생환경
경제성	사용성	내구성
		유연성
	보전성	작업성
		갱신성

(나) 공공청사의 사회성에 관한 성능

1) 공공청사의 지역성에 관한 성능평가 지표

시설이 입지하는 지역의 역사, 문화 및 풍토의 특성과 함께 지역의 활성화 등 지역사회에의 공헌에 대한 배려가 이루어질 있도록 성능의 수준을 확보하여야 한다.

표 3.85 공공청사의 지역성에 관한 성능평가 지표

분류	평가지표
1. 역사, 문화 및 풍토에 대한 배려	형태, 소재, 구조 등에 대하여 지역의 역사, 문화 및 풍토의 특성을 배려되어 있는가?
2. 특성이 풍부한 역사 및 문화의 존중	① 지역에 입지하는 시설에 있어서는 해당 지역의 특성이 풍부한 역사 및 문화를 존중하고 있는가? ②역사적 가치가 있는 시설의 보존·재생에 있어서는 해당 시설의 역사적 가치를 존중하고 있는가?
3. 지역과의 연대	지역과의 연대가 특히 필요한 시설에 있어서는 주변 시설 등과의 연속성이 확보되어 있으며, 기능 보완 등의 연대가 도모되고 있는가?
4. 지역활성화에의 공헌	지역과의 연대가 특히 필요한 시설에 있어서는 지역의 핵심으로서 활기를 창출하고 있는가?
5. 관련계획과의 합치성	도시계획 및 지역의 계획, 협정 등과는 일치되고 있는가?

2) 공공청사의 경관성에 관한 성능평가 지표

시설이 입지하는 지역의 역사, 문화 및 풍토의 특성을 고려하면서 주변환경과의 조화를 도모하고, 양호한 경관의 형성에 대한 배려가 이루어질 수 있도록 성능의 수준을 확보하여야 한다.

표 3.86 공공청사의 경관성에 관한 성능평가 지표

분류	평가지표
1. 역사, 문화 및 풍토에 대한 배려	형태, 소재, 구조 등에 대하여 주변환경과의 조화를 도모하고 있는가?
2. 역사적 거리의 보존·재생	특성이 풍부한 지역에 입지하는 시설에 있어서는 해당 지역의 거리가 가지고 있는 역사 및 문화를 존중하고 있는가?
3. 주변 자연환경 배려	주변 자연환경과의 조화가 도모되고 있는가?
4. 주변도시환경에 대한 배려	주변도시환경과의 조화와 함께 주변 시설과의 연대를 도모하면서 양호한 도시경관형성에 공헌하고 있는가?
5. 추진계획 등과의 합치	① 경관법에 따라 경관계획지구에 입지하는 시설에 있어서는 당해 계획에 따르고 있는가? ②도시계획 및 지역의 계획, 협정 등과는 일치되고 있는가?

(다) 평가 방법

가. 해당지역 공공단체, 시설이용자, 지역주민 등에 의한 평가

나. 설계도서의 확인을 통한 평가지표의 확인

(라) 시사점

성능규정화를 위하여 가장 먼저 필요한 것이 성능기준이다. 일본의 국토교통성은 성능규정화를 앞두고 서둘러 공공청사의 성능기준을 제정한 것으로 보인다. 일본의 공공청사는 최근에는 민자유치사업으로 시행되므로 본 성능기준은 민자유치사업으로 시행되는 공공청사의 평가에 활용되고 있다.

조경분야의 성능평가는 정량화하기 어려운 경우가 많은데 조경분야의 성능기준을 작성할 때에는 본 기준에서 제시하고 있는 바와 같이 성능평가 지표를 이용하여 성능기준을 작성할 수 있을 것으로 사료된다.

나. 측정 및 시뮬레이션에 의한 작성지침

(1) 우수저류 및 온도저감 성능기준[59]

베를린시의 경우 도시개발국 생태도시개발과에서 지정한 '정부 발주 공사의 현상 공모를 위한 생태적 계획의 범주에서는 현상 공모에 참여하는 건축, 도시계획 참여자들이 그들의 설계도서 작성시에 고려해야 하는 여러 요소들을 생태적 측면에서 규정해 놓고, 이를 지키도록 유도하며, 이러한 측정 가능한 요소들이 반영된 정도에 따라 현상 공모 당선에 영향을 미치도록 하고 있고 있으며, 당선작이 시공된 후에도 지속적인 모니터링을 통하여 구체적인 평가를 하고 있다.

(가) 생태적 계획의 범주

현상 공모를 위한 생태적 계획의 범주는 다음과 같다.

1) 참여자들은 측정 가능한 생태적 컨셉을 반영할 것을 기대하며, 이는 기존의 설계 방법에 추가적으로 생태적 컨셉을 반영하는 것이 아니라 이러한 생태적 건셉에 의해 기본적인 설계 방법을 따라 가는 것을 의미한다.

2) 빗물의 저류, 침투 이용. 원칙적으로 기존의 빗물 배수용 하수관망 설치를 지양하고 분산식 빗물관리를 유도하도록 한다.

3) 생태면적율, 녹지부피율 등에 의한 녹지 면적을 고려한다.

4) 에너지 사용량 절감 및 효율의 극대화 방안을 모색한다.

(나) 물수지 및 열수지에 대한 모니터링

베를린시 도시개발국의 생태도시개발" 과에서 지정한 현상공모를 위한 생태적 계획의 범주(가이드라인)에 근거해서 당선된 아들러스 호프 프로젝트 지역에 대한 물수지(빗물의 저류, 침투 증발산 이용량) 및 열수지(실내외 온도, 습도, 태양 복사에너지, 적외선 촬영을 통한 표면 온도 측정 등) 모니터링에 대한 내용은 다음과 같다.

---

59) 권경호(2004) 옥상벽면녹화를 통한 건축물 에너지 절약 및 빗물관리, 조경시공 2004(05), pp. 58-62

표 3.87 녹화된 옥상의 강수, 유출, 최대 및 실제 증발산량, 증발 냉각율 측정결과

측정 년도	강수량 mm	유출량 mm	유출량 %	최대 증발산량 mm	실제 증발산량 mm	냉각율 kWh/(m²*a)
1987	702	179	25.5	641	523	356
1988	595	157	26.4	696	437	298
1989	468	98	20.9	750	370	252
평균값	588	145	24.6	696	443	302

표 3.88 저류용량 및 빗물소요량에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과 값

총 저류용량		64 ㎥ (15 mm)
부문별 빗물소요량	단열팽창 냉각 공조시스템 용수량	12 % (Simulation)
	벽면 녹화 식물 관개 용수량	26 % (Simulation)
	중정 내의 식물 관개 용수량	6 % (Simulation)
	지하 침투량	> 35 % (Simulation)

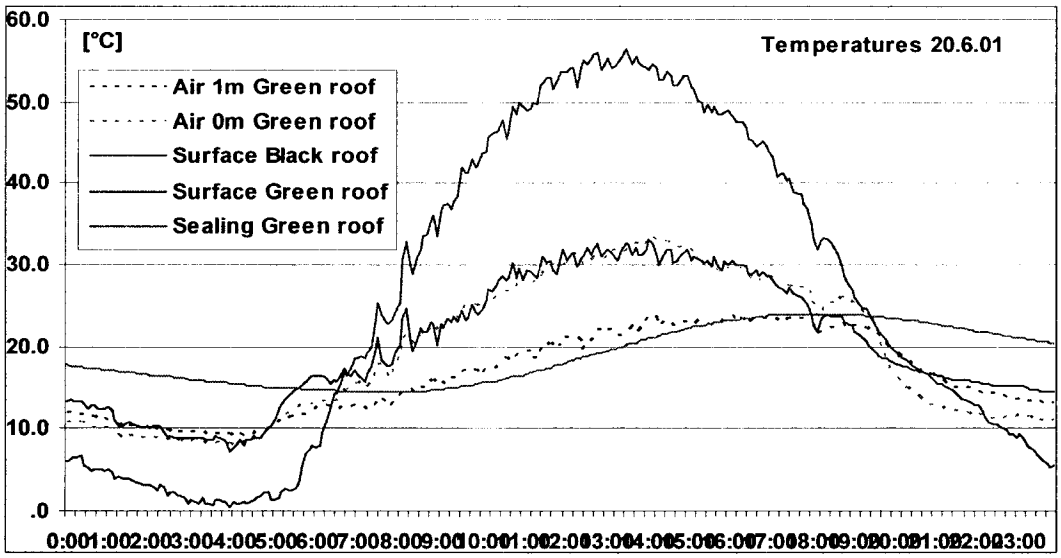


그림 3.54 녹화된 옥상 표면의 온도 저감 효과- 기존 옥상과의 비교

자료: 권경호(2004)

2. 조경분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침

가. 조경분야 성능중심 건설기술기준 작성 개요

(1) 조경분야 성능중심의 건설기술기준의 구성

조경분야 성능중심 건설기술기준의 구성은

1) 사업의 목표

2) 요구성능

3) 평가의 방법

4) 평가결과의 적용

등으로 구성된다.

(2) 요구성능

조경분야 성능중심 건설기술기준의 요구성능은

1) 시설이용자의 의견수렴

2) 관련분야 전문가의 의견수렴

3) 발주기관의 의견

4) 기존의 법령 , 기준 등에 명시된 사항

등을 바탕으로 구성한다.

(3) 성능평가의 방법

조경분야 성능평가의 방법은

1) 평가지표에 의한 방법

2) 측정에 의한 방법

3) 평가모델(수치모델 포함)을 이용한 방법

4) 모니터링에 의한 방법

5) 이용자의 만족도 설문조사에 의한 방법

등으로 할 수 있으며, 평가항목별로 가중치를 적용할 수 있다.

성능평가의 주체는

1) 지역주민

2) 관련분야 전문가

3) 발주기관

4) 관련단체

5) 시설 이용자

등이 될 수 있다.

성능평가의 시기는

1) 설계단계

2) 시험시공단계

3) 준공단계

4) 관리단계

로 나누어 실시될 수 있다.

(3) 성능평가 결과의 적용

조경분야 성능평가 결과는 다음과 같은 경우에 적용할 수 있다.

1) 설계업체의 선정

2) 설계의 변경 및 보완

3) 설계 대가의 지급

4) 시공업체의 선정

5) 시공방법의 변경 및 보완

6) 시공대가의 지급

7) 관리업체의 선정

8) 관리방법의 변경 및 보완

9) 관리대가의 지급

나. 공원정비사업 성능중심 건설기술기준의 구성(예시)[60]

(1) 공원정비사업의 목표

1) 사업의 목표

(2) 시설관련

1) 기본적 요건
2) 설계개념
3) 토지이용계획
4) 동선계획
5) 조성계획
6) 시설, 설비 요건
7) 공사상의 요건

(3) 녹화계획

1) 주변 자연환경과의 조화
2) 방풍대책
3) 식재수목의 전정

(4) 공급처리계획

1) 우수계획
2) 조정지계획
3) 오수계획
4) 급수계획
5) 전기계획

(5) 유지관리

1) 청소업무

---

60) http://www.pa.ktr.mlit.go.jp/keihin/nyusatu/pdf/setumei0271.pdf

2) 건축물, 공작물, 설비의 보수관리업무

3) 경비업무

4) 식재관리 업무

5) 폐기물처리

(6) 운영업무

1) 공원전체에 관한 사항

2) 개원일, 개원시간, 휴원일

3) 사업수지계획

4) 계획 및 보고서의 작성

(7) 준수하여야 할 법령 등

1) 법령 등

2) 기준 등

3. 조경분야 성능기준의 개념 및 특성

조경분야의 성능기준은 요구성능과 요구성능을 성능평가하는 방법으로 구성된다. 따라서 조경분야 성능기준의 개념과 특성을 알아보기 위해서는 요구성능과 성능평가방법의 양측면을 살펴볼 필요가 있다.

가. 조경분야의 요구성능

(1) 요구성능의 표현

조경공사는 수치화가 가능한 범위가 제한적이고, 주관적 판단이나 경험에 의존하는바가 크며, 부정형의 천연소재를 많이 사용하는 만큼 구체적인 설계는 오히려 조경공사의 품질을 떨어뜨리는 결과를 초래할 수도 있는 특성을 지니고 있다. 특히 자연환경 복원공사와 같은 경우는 수 백 종에 이르는 잠재식물을 도면에 표시하기 어려운 점이 있고, 현행의 시방규정으로는 이러한 공종의 품질관리가 곤란하나, 이

를 요구성능으로 표현하자면 「주변 기존림과 거의 같은 상태로 복원할 것」으로 되고, 성능규정은 「임상정비는 표본견본 식생으로 제시된 기존림 내의 000지구에 준하여 복원할 것」과 「품질 및 완성형태관리는 별도의 00에 의한다」 등과 같이 표현할 수 있을 것이다[61].

민간부문에 있어서 조경공사의 성능이란 고객이 요구하는 설계의도를 반영한 기능과 경관이 조화된 공간을 말하며, 보다 좋은 것을 보다 값싸게 제공하기 위한 목적을 가지고 있으나, 공공부문의 조경공사는 투명성, 객관성, 경쟁성이 확보되어야 하므로 이를 위해서는 보다 알기 쉬운 성능표시, 목적과 기능에 대한 발주자, 설계자, 시공감리자, 시공자간의 인식의 공유화가 필요하며, 실수요자에 의한 평가도 필수적이라 할 수 있으므로 이에 적합한 성능의 표현이 중요한 과제로 부각되고 있다.[62]

(2) 요구성능의 수치화

조경공사는 성능을 수치로 제시할 수 있는 공종이 적어 수치를 대신하여 요구성능을 어떻게 표현할 것인가가 중요한 과제로 되고 있는데, 식재기반 정비는 조경공사 중에서 요구성능을 수치로 제시할 수 있는 몇몇 안 되는 공종의 하나로 성능기준의 작성이 가장 먼저 이루어질 수 있는 공종이다. 외부공간에서 포장지역을 제외한 거의 대부분의 공간이 식재지역이라는 점을 감안할 때 조경공사에서 식재지반의 성능기준이 차지하는 비중은 매우 높다고 할 수 있다. 또한 식재지반은 식물이 생육할 수 있는 공간일 뿐만 아니라 빗물의 저장기능, 증발산에 의한 열섬효과완화기능, 생물서식공간을 제공하는 공간으로서의 역할 등을 가지고 있어 환경친화적인 개발을 위한 성능기준으로도 활용될 수 있는 가능성을 가지고 있다.

식재지반 정비공사의 성능기준 항목으로는 수분보유특성, 투수계수, 견밀도, 양이온치환용량, 전기전도도, 산·알칼리도 등을 들 수 있으며, 이러한 특성을 바탕으로 시뮬레이션 모델에 의한 경시적인 변화를 추정함으로써 식재지반의 환경친화도를 예측 및 평가할 수 있을 것이다.

---

61) 立山 富士彦(1998) 造園工事の性能規定化を考える, ((社)日本造園學會 關東支部 技術部會 "技術部會10年の歩み") pp. 28-30.

62) (社)日本造園建設業協會 入札・契約制度檢討作業部會(1999) あすの造園工事業を考える - 造園工事の 性能規定化-

(3) 환경성능

건설분야에서도 구조적인 안정성 못지않게 지속가능개발과 친환경적인 개발이 중요해지고, 건설구조물의 경관성 또한 중요하게 취급되고 있는 만큼, 경관성, 친환경적 기능성을 충족시키는 성능기준 개발이 요청되고 있다.

경관성능을 문화·정서적인 환경이라고 한다면, 친환경성능은 물리적인 환경과 생물적인 환경으로 나누어 볼 수 있다. 물리적인 환경은 물과 열, 바람으로 압축하여 볼 수 있으며, 방법론적으로는 빗물의 저장, 순환 및 바람에 의한 열섬효과 완화라고 할 수 있다. 생물적인 환경은 생물종 다양성을 높이는 것이 목표이며, 가장 적은 에너지를 투입하여 생물서식처를 유지관리할 수 있도록 기준설정이 이루어져야 할 것이다.

나. 조경분야의 성능평가 방법

현행의 검사체계는 공사방법에 대한 검사이고 요구성능의 달성도를 검사하지 않고 있다. 따라서 성능기준을 작성하기 위해서는 요구성능을 발굴하고 표현하는 방법을 개발하는 것과 병행하여 요구성능을 평가하는 방법과 평가를 객관적이고 합리적으로 가능하게 하는 기술개발이 필요하다.

(1) 측정 및 시뮬레이션에 의한 성능기준

성능기준이 정량적으로 제시되는 경우에는 측정을 통하여 성능기준이 달성되었는지를 평가 할 수 있다.

식재지반개량 및 조성공사의 경우는 토양경도, 투수계수, 유효수분량, 유효토심, 토양산도, 전기전도도 등의 범위가 정량적인 성능기준으로 제시될 수 있으므로 성능평가 또한 정량적으로 시행될 수 있다.

조경지역의 열섬완화효과나 우수저류 능력, 우수유출억제 능력 등이 정량적인 요구성능으로 제시될 수 있는데, 이러한 경우에도 미기상과 우수유출량 등에 측정하거나 시뮬레이션에 의하여 성능평가를 할 수 있다.

(2) 평가지표에 의한 성능기준

조경분야가 대상으로 하는 공간은 그 설치 목적이 시민 혹은 주민 등의 휴식, 휴

양, 놀이 등을 통한 건강성 및 쾌적성을 확보하는 한편 환경친화적으로 조성되어져야 한다. 따라서 성능발주를 할 때에는 이러한 목적이 달성될 수 있도록 요구성능에 포함시켜야 하는데, 건강성, 쾌적성, 환경친화성 등과 같은 요구성능은 정량적, 객관적 평가가 곤란한 부분인 만큼 평가지표에 의한 평가방법의 확립이 필요하다.

평가지표에 의한 평가방법은 설계, 시공, 재료 및 제품생산자에 의한 자체평가, 전문가에 의한 평가, 시민 또는 주민과 같은 실수요자에 의한 평가로 나누어 볼 수 있으며, 사전 평가와 사후 평가로 나누어 시행할 수 있다. 평가의 목적도 성능인증을 받기 위한 평가, 요구성능을 도출하기 위한 평가, 요구성능에 대한 설계제안사항을 평가하기 위한 것, 계약목적물의 완성도를 평가하기 위한 것 등으로 나누어 볼 수 있다.

(3) 생물종의 모니터링에 의한 성능기준

조경분야의 성능기준 중에서 중요시 되는 부분은 생물종 다양성에 대한 평가이다. 생물종 다양성에 대한 평가는 앞으로 그 중요성이 점점 더 높아질 것으로 예측되는데 생물종 다양성이란 계절적으로 시간적으로 변화가 많은 만큼 지속적인 관찰과 분석에 의하여 생물종 다양성을 평가하는 것이 필요하다. 목표종의 설정문제, 생태적인 천이에 대한 평가 외래종 및 우점 종에 대한 평가 등은 단순히 모티터링 결과만으로 결정되는 것이 아니고 요구성능의 수정과 보완단계로 지속적으로 피드 백되는 과정을 거쳐 목표에 도달하는 시스템으로 구성되어져야 할 것이다.

4. 조경분야 성능기준 개발 대상 및 범위

가. 성능기준 적용의 대상

조경분야의 건설기술기준은 크게 2가지로 구분하여 첫 번째는 공간을 대상으로 하는 설계기준과 두 번째는 공법을 대상으로 하는 시방서로 나누어 볼 수 있다.

(1) 성능기준 적용의 공간적 대상

공간을 대상으로 하는 조경분야는 도시구역 내에서는 도시계획시설로서의 공원, 녹지를 비롯하여 주거지 혹은 공업지역, 건물 등의 외부공간을 그 대상으로 하며,

도시지역 외부에서는 국립공원, 자연공원을 비롯하여 위락지구, 농촌마을, 생태공원 등을 그 대상으로 한다.

(2) 성능기준 적용 대상 공법

조경분야의 공법은 식재지반 정비공법, 조경식물의 식재공법, 비탈면 녹화공법, 조경포장공법, 자연환경·생태복원공법, 관수시설공법, 조경유지관리공법 등이 있다.

(3) 성능기준 작성의 범위

조경분야 성능중심의 건설기술기준 개발의 궁극적인 목적은 지속가능한 환경과 개발을 유지시키는데 있으며, 이를 위해서는 환경성능을 향상시킬 필요가 있다. 따라서 조경분야의 성능기준은 환경성능을 중심으로 개발될 필요가 있다.

5. 조경분야 성능기준 개발을 위한 접근방법 및 개발 방법

가. 성능기준 개발을 위한 접근방법

성능기준 개발을 위한 접근방법은 성능기준의 구성요소가 되는 요구성능과 성능평가방법 개발의 2가지 방향으로 접근할 수 있다.

(1) 요구성능의 도출방법

1) 설계기준의 분석에 의한 요구성능 항목의 도출
2) 설문분석에 의한 요구성능 항목의 도출
3) 전문가 자문에 의한 요구성능 항목의 도출
4) 사업목표, 시설물의 기능분석을 통한 요구성능 도출
5) 환경성능 항목 분석을 통한 요구성능 도출

(2) 성능평가방법의 도출

1) 지표개발을 통한 성능평가 방법의 도출
2) 측정방법의 개발을 통한 성능평가 방법의 도출

3) 평가모델 개발을 통한 성능평가 방법의 도출

4) 모니터링 방법의 개발을 통한 성능평가 방법의 도출

나. 성능기준 개발방법

성능기준 개발의 기술적인 어려움은 평가방법에 있다. 따라서 성능기준 개발의 주안점은 객관적이고 효율적인 평가방법을 개발하는데 주안점을 둔다.

(1) 설문조사 방법의 개발

1) 설문조사의 결과는 요구성능을 도출하는데 이용할 수 있을 뿐만 아니라 성능평가에도 이용할 수 있다.

2) 설문조사 대상자의 선정방법 개발

3) 설문문항 개발

4) 설문분석기법 개발

5) 중요도의 조사 및 가중치 적용방법 개발

6) 설문조사 결과의 적용방법고찰

(2) 경관성능 평가방법의 개발

1) 경관의 개념 정의

2) 공간과 인지의 개념 정립

3) 공간과 행동의 개념 정립

4) 경관해석을 위한 지표 개발

5) 시각영향 영향 해석수법 개발

6) 시각공간 영향 해석수법 개발

7) 경관대상 특성의 파악수법 개발

8) 경관의 양식별 분류

9) 사업단계별 경관공학적 평가방법 개발

(3) 열환경 성능평가 방법의 개발

1) 열수지의 측정방법개발

2) 열수지 해석을 위한 미기상 해석모델의 분류

3) 미기상 해석모델을 통한 열환경 성능평가 방법 개발

(4) 물환경 성능평가 방법의 개발

1) 물수지의 측정방법개발

2) 물수지 해석을 위한 수치해석 해석모델의 분류

3) 물수지 해석모델을 통한 물환경 성능평가 방법 개발

(5) 생물서식환경 성능평가 방법의 개발

1) 생물종의 분류 및 식별 프로그램 개발

2) 생물종의 채집 및 관찰방법 개발

3) 생물종의 다양성에 대한 평가방법 개발

4) 생물종별 서식환경 평가 방법 개발

- 서식환경 지표의 개발
- 서식종에 대한 지표개발

5) 생물 서식지의 연결성 평가

6) 생물 서식지의 평가모델 개발

7) 평가모델을 통한 생물서식환경 성능평가 방법 개발

6. 조경분야 성능기준 시행을 위한 준비사항[63]

시방기준으로부터 성능기준으로의 이행이 필수적인 사안이 되고 있는데, 성능규정화는 단지 기술기준만의 문제가 아니라, 내구성과 비용, 입찰과 발주 등과 관계가 있으므로 이를 위한 준비사항은 다음과 같은 것을 들 수 있다.

(1) 성능조사방법의 개발

현행의 검사체계는 공사방법에 대한 검사이고 요구성능의 달성도를 검사하지 않고 있다. 따라서 성능발주를 하기 위해서는 성능설계의 방법을 개발하는 것과 병행하여 요구성능을 달성하였는지를 조사하는 방법과 그것을 가능하게 하는 기술개발

63) 中島賢二郎(2002)性能設計に關する諸問題, 研究レポートNo.23.

이 필요하다.

(2) 성능조사 기관의 설립

발주자를 대신하여 요구성능을 달성하였는지를 조사하여 인증하는 기관이 필요하다. 그 기관은 경우에 따라서는 시험기기를 갖추는 것이 필요하며, 반드시 공공 기관이어야 할 필요는 없다. 왜냐하면 누가 조사하였는지가 중요한 것이 아니라 어떠한 방법과 기준으로 조사하였느냐에 의미가 있기 때문이다. 성능조사 기관이 갖추어야 할 기능은 법으로 규정하는 것이 바람직하다.

(3) 설계 및 공사에 관한 보험제도

대규모 토목공사와 같은 공공사업은 실패하는 일이 없다고 인식되고 있어, 공공사업의 실패에 대한 올바른 처리를 곤란하게 만들고 있다. 성능기준에 의한 성능발주에서는 이러한 실패에 대한 위험성을 인정하고, 위험성에 대한 정보의 공유와 위험이 발생한 이유를 설명해야 할 책임이 있다는 것을 인식하고, 각자의 행동 결과의 위험성에 대하여 책임을 지는 것이 필요하다. 따라서 위험성을 저감시키려는 노력과 위험성을 보험 등을 통하여 보상하는 것과 위험성에 대하여 책임을 지려는 자세가 필요하게 된다. 이러한 노력 중에서도 특히 위험성을 보험을 통하여 보상할 수 있는 체제의 확립이 조속히 확립되어야 한다.

(4) 표준품셈과 적산체계의 정비

현행의 표준품셈과 적산체계는 이미 정해져 있는 공사방법을 전제로 만들어진 것이기 때문에 공사 수주 희망자가 자유롭게 공사방법을 선택할 수 있는 성능발주에 적용하기는 곤란한 면이 있다. 요구성능에 적합한 적산체계가 갖추어질 때 까지는 수주희망자들이 제출한 견적내역서를 심사하여 경쟁낙찰가격을 채용하게 될 것으로 예상된다. 이러한 실적가격을 축적해 두는 것이 성능발주를 위한 대비책이 될 것이다.

(5) 성능담보 수단의 개발

현행의 건설공사에는 하자보수보증기간이 정해져 있고, 「민법」상으로 "토목구조물의 하자담보기간은 10년"으로 정해져 있으며, "채권의 시효는 최대 10년"으로 정해져 있다. 성능발주의 경우 계약자유의 원칙에 따라 당사자간의 합의라 하더라도 「민법」의 규정을 넘어 장기간에 걸친 요구성능의 보증을 요구하는 것이 가능한지가 문제점으로 대두된다. 또한 성능발주에 있어서는 기능의 발현을 확인하는 시점을 계약의 완료로 인정해야 하지만 공사완료시점에 성능보증부분을 포함하여

공사비를 지불하여야 한다는 문제점도 지니고 있다. 이에 대해서는 수급인이 성능 보증에 필요한 불확정한 비용에 대하여 보험에 가입하는 것을 의무화한 후 공사대금을 지불하는 방법을 고려할 필요가 있다.

또한 요구성능의 장기간에 걸친 보증을 위해서는 장기적인 내구성을 단기간 내에 측정해 볼 수 있는 시험방법이 개발되어져야 할 것이다.

제 7 절 건축기계설비분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발

1. 성능기준의 개념 및 특성

가. 건축설비의 정의 및 분류

(1) 설비의 정의 및 분류개요

64)국어사전에서의 의미는 인간의 실내 생활환경과 건축물의 기능을 향상시키고, 인체의 위생·건강을 유지하기 위하여 건축물에 설비하는 모든 공작물의 총칭으로 나와져 있으며, 설비를 학술적으로 분류하면 건축설비와 산업설비(플랜트 설비) 2가지로 크게 구분할 수 있다. 건축설비는 건축물에 필요한 설비로서 건축설비에는 냉난방·공기조화설비, 급배수·위생설비, 소방설비, 전기설비, 통신설비, 운송설비, 자동제어설비, 방범설비 등이 포함되며, 산업설비(플랜트 설비)는 산업시설에 필요한 설비로서 생산시설, 환경시설, 에너지시설 등으로 구분된다.

학문 분야별로 분류하면 설비는 기계설비, 전기설비, 통신설비로 크게 대 분류 할 수 있다. 일반적인 통념상의 설비라 함은 구조물을 제외한 부분으로 당초 목적물에 기능을 부여하기 위한 시설물로서, 건축물 공간의 환경조절, 에너지 공급, 처리 등의 기능을 갖추어 수행할 수 있는 과학기술을 이용하여 쾌적하고 위생적인 건축환경을 유지하여 거주성과 작업능률을 향상시키는 시설을 의미하며 그 외에 생산현장에서 제품의 품질확보와 개선, 생산성 향상 등을 목적으로 하는 산업용도 포함하고 있으며 기계설비, 전기설비, 소방설비, 통신설비, 환경설비 등이 포함된다.

설계도서상의 설비는 기계설비, 전기(통신 포함)설비로 분류되며, 기계설비는 건설산업기본법에 의한 기계설비, 소방법에 의한 소방기계설비, 환경관련법에 의한 정화조 설비등이 포함된다. 또한, 전기설비는 전기공사업법, 통신설비는 통신공사업법, 소방전기설비는 소방법, 환경설비는 수질환경보전법, 대기환경보전법등에 의해서 분류된다

64) 박종일 외, 건축설비 계약 관계법규 개선방안 연구, 대한설비공학회 2002

(2) 법령상의 구분

건설산업 기본법 시행령 별표 1에서 설비관련공사로는 기계설비공사업, 상·하수도설비공사업, 승강기설치공사업, 온실설치공사업, 가스시설시공업(제1종~제3종), 난방시공업(제1종~제3종) 산업설비공사업, 철물공사업, 강구조물공사업의 13개 시공업으로 분류되어있으며 건설산업기본법상 건축물과 산업설비 구분 (시행규칙 별지 제18호 서식)은 다음 표 3.89와 같다

아직 설비에 대한 명확한 정의는 이루어져 있지 않고 또한, 여러 분야에서 설비는 포괄적 의미로 적용되기 때문에 한정적으로 설비의 영역을 정하기는 쉽지가 않다. 특히, 업역에 대한 것은 관련분야 업계종사자의 이해관계가 얽혀 있기 때문에 더욱 그러하다. 설비를 크게 분류하여 산업설비와 건축설비로 분류할 때에도 영역구분이 그렇게 쉽지가 않으나 일반적으로 설비의 개념을 정리하면 다음 표 3.90과 같다.

표 3.89 건설산업기본법상 건축물과 산업설비 구분 (시행규칙 별지 제18호 서식)

건축물		산업설비
311 : 단독주택	342 : 학교	410 : 제철 및 석유화학
312 : 저층아파트(5층이하)	343 : 병원	공장 등 산업생산시설
313 : 고층아파트(6~15층이하)	350 : 전통양식 건물	420 : 원자력발전소
314 : 초고층아파트(16층이상)	351 : 교회·사찰 등 종교용 건물	421 : 화력발전소
315 : 주거·사무실겸용건물	352 : 기타 문화재, 유적건물	422 : 열병합발전소
320 : 상가·백화점·쇼핑센타	360 : 경기장·운동장	423 : 수력발전소
321 : 사무실빌딩	361 : 전시(展示)시설	430 : 집단에너지공급시설
322 : 오피스텔	370 : 창고, 차고, 터미널건물	440 : 쓰레기소각장
325 : 인텔리젼트빌딩	371 : 공장, 작업장용건물	450 : 플랜트
330 : 호텔·숙박시설	372 : 기계기구설치(플랜트제외)	460 : 하수종말처리장
340 : 관공서건물(11층이하)	373 : 위험물저장소	461 : 폐수종말처리장
341 : 관공서건물(12층이상)	380 : 기타	470 : 기타산업설비

표 3.90 설비의 개념분류

구 분			주 요 내 용	비 고
건축설비	건축기계	공기조화분야	공기조화설비, 냉난방설비, 환기설비, 배연설비, 온실설치, 특수설비(항온항습,청정실,지역난방설비, 빙	공통사항 : 자동제어설비, 유지관

	설비		축열, 심야전력 이용설비, 태양열 이용설비, 열병합 발전 등), 기타	리, 보온도장, 방음방진 등
		위생설비 분야	급수설비, 배수설비, 급탕설비, 주방, 위생설비, 가스설비, 오물정화조설비, 수처리설비, 특수설비(병원용, 실험용, 방사선용,쓰레기 소각설비), 기타	
			소방기계설비	
	건축 전기 설비	승강기 관련분야	엘리베이터,에스컬레이터, 덤웨이터, 기송관 기계식 주차설비, 무대기계장치공사, 자동창고 설치공사, 기타	기계 + 전기
		전기분야	수전설비, 변전설비, 조명설비, 동력설비, 약전설비, 전기시계, 제어, 방재, 방범, 피뢰침설비, 축전설비, 자가발전설비, 기타	
			소방전기설비	
		통신분야	전화, 인터폰, 확성기, TV, 라디오, 무선설비, LAN 설비, 감지설비, 경보설비, 기타	
산 업 설 비 (플랜트 설비)			생산시설, 환경시설, 에너지시설, 기타	

(3) 설비의 정의

(가) 건축설비

건축설비란 건축물 내에서 요구되는 물리적인 환경을 위생적이며 에너지관리 측면에서 효율적으로 유지하기 위하여 각종시스템을 실용적으로 계획 및 설치하여 거주자들을 위한 쾌적한 실내환경을 창출하는 것을 목적으로 하는 분야이다.

분야별로 분류하면 건축설비는 기계설비, 전기설비로 크게 분류 할 수 있으며 그 외 건축물에 관련된 설비로 분류할 수 있다

건축기계설비는 공기조화 · 냉난방 · 환기 · 급수 · 급탕 · 오배수 · 통기 · 건물자동화 · 가스 · 소화 · 제연 · 승강 · 발전기, 쓰레기처리 · 진공청소 · 냉동,냉장 · 세탁 · 문서반송 · 주방 · 주차설비 · 방음방진 · 수처리 · 수질 및 대기 오염 방지설비 등이며 건축전기설비는 전기 · 통신 · 유무선방송 · 피뢰침 · 공동시청안테나 · 화재감시 및 경보 설비 등을 말한다. 건축물에 관련된 설비는 굴뚝, 피뢰침, 국기계양대, 우편물 수취함 기타 건설교통부령이 정하는 설비를 말한다.

건축법에서의 정의는 건축법 제 2조 (정의) ① 3항에 의하면 "건축설비란 건축물에 설치하는 전기, 전화, 가스, 급수, 배수, 환기, 난방, 소화, 배연 및 오물처리의 설

비와 굴뚝, 승강기, 피뢰침, 국기계양대, 공동시청안테나, 유선방송 수신시설, 우편물 수취함 기타 건설교통부령이 정하는 설비를 말한다"라고 정의되어 있으며 건축법 시행령과 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙에는 이에 대한 세부내용이 규정되어 있으며 이는 건축물에 관련된 설비로서 건축물의 기능을 보완하기 위한 의미로 설비를 정의하고 있다.

따라서 현재 학계나 건설업계에서 분류 또는, 정의되고 있는 "건축설비"와 건축법, 동 시행령, 동 시행규칙에서 규정한 "건축설비"부문과는 연관성이 다소 결여되어 있다. 즉, 소방설비, 전기설비, 정보통신설비 등은 (건축)설비로 분류되고 있음에도 불구하고, 건설업 분야에는 포함되어 있지 않은 실정이다. 또한, 자동제어설비, 방범설비 등도 학술적으로는 설비영역이지만 그 업역이 모호한 상태이다.

(4) 건축기계설비

건축기계설비공사는 건축물 등 시설물에 설치하는 급수·급탕·배수·주방 등의 위생설비, 냉난방·환기 등의 공기조화설비, 열 절연공사, 방음·방진공사, 옥내급배수관 교체·세척공사, 플랜트 안의 배관 및 기기설치공사, 무대 기계장치공사, 자동창고설비공사, 냉동냉장설비공사, 집진기공사, 기계설비 자동제어공사, 철도기계 신호공사, 건널목 차단기 공사 등을 조립·설치하는 공사이다.

(5) 기계설비

기계설비는 설비의 종류 중 기계장치를 이용하는 시설을 말하며, 기계설비 공사는 건축물 등 시설물에 설치하는 급수·급탕·배수·주방 등의 위생설비, 냉난방·환기 등의 공기조화설비, 열 절연공사, 방음·방진공사, 옥내급배수관 교체·세척공사와 플랜트에서의 배관 및 기기설치공사, 무대 기계장치공사, 자동창고설비공사, 냉동냉장설비공사, 집진기 공사, 기계설비 자동제어공사, 철도기계 신호공사, 건널목 차단기 공사 등을 조립·설치하는 공사 등을 말하나 좁은 의미로서는 건축물·플랜트 기타 공작물에 급배수·위생·냉난방·공기조화·기계기구·배관설비 등을 조립·설치하는 공사를 칭한다.

(6) 산업설비

산업설비란 종합적인 계획·관리 및 조정 하에 산업의 생산시설, 환경오염을 제거·감축하기 위한 시설, 에너지 등의 생산·저장·공급시설 등을 건설하는 공사로서, 제철 및 석유화학 공장 등 산업생산시설, 원자력발전소, 화력발전소, 열병합발전소, 수력발전소, 집단에너지공급시설 등 발전소설비공사, 쓰레기소각시설, 플랜트, 하수종말처리장, 폐수종말처리장 등 환경시설공사, 기타산업설비를 말한다.

나. 성능기준의 개념 및 특성

국내 경제시장 규모의 확대로 인하여 일반 사회생활에서의 요구수준이 높아지고 이에 따라 건축기술의 선진화가 요구되고 있다. 또한 해외시장으로 다양한 진출이 진행되면서 관련국과의 통상거래를 위하여 국제표준의 채택이 중요한 사항으로 인식되어지고 있다. 건축기계설비분야에서는 세계적으로 지구온난화와 오존층파괴에 의한 환경문제와 유가의 급격한 상승의 해결방법을 제시하는 기술분야로서 이에 대한 중요성이 크게 높아지고 있으며 선진 각 국에서는 이를 위하여 건축기계설비분야에 대하여 건축물에서의 친환경과 에너지 절약을 위한 성능중심기준의 도입을 추진하고 있다. 국내에서는 주택성능등급 표시제도 등의 건축기계설비분야의 성능 확인을 통하여 에너지 절약과 환경문제의 해결을 도모하고 있으나 이에 대한 기술사항의 미비로 한계가 있으며 현재의 건설기준체계로도 이에 대한 사항을 충족하지 못하고 있다. 향후 정비되어야 할 건축기계설비 분야의 성능중심기술기준의 개념은 건축기계설비가 최종적으로 건축물에서 쾌적성 유지, 에너지와 자원의 절약, 환경에 의한 영향 최소화, LCC비용의 최저화, 위험성 회피 등을 기하기 위한 기술 기준을 말하며 이를 위한 주요 내용은 다음과 같다.

(1) 국내 외 성능 관련 용어의 정의

성능이라는 용어는 영국 및 ISO, CIB, JIS 등에 다양하게 정의 되어 있으며, ISO에서 성능이란 '제품(건축물 전체·일부)의 사용과 관련한 거동'으로 , 일본의 내구성소위원회에서는 '목적·요구에 응하여 발휘되는 성질'로 정의하고 있다.

지금까지 제안된 기능, 성능에 관련한 용어의 정의 중 몇 가지 예를 표 3.91에 나타냈으며, 영국의 해리슨(Harrison)이 보고한 규격안의 성능관련 용어의 정의는, 예

시가 있어 쉽게 이해할 수 있으며 표 3.92에 나타냈다.

표 3.91 건축성능에 관련한 용어 정의

용어	정의・의미
성능 (Performance)	제품(건축물 전체・일부)의 사용과 관련한 거동
	목적・요구에 응하는 물건이 발휘하는 능력
	목적・요구에 응하여 발휘되는 성질
사용자 (User)	건축설계의 목적으로 하는 조직, 사람, 동물・물건
사용자의 요구 (User Requirement)	건축물이 확보해야 할 필요사항
요구성능 (Performance Requirement)	제품(건축물 전체・일부)의 성능으로 표시한 사용자의 요구
기능 (Function)	말로써 표현한 설계 의도
	목적・요구에 응해서 사물이 수행하는 역할
	전체 시스템 중에서 어떤 물건이 수행하고 있는 역할
품질 (Quality)	물품이나 서비스가 사용목적에 부합하는지를 결정하기 위한 평가 대상이 되는 고유 성질・성능
	몇 가지 기능・성능에 기초하여 행하는 물건의 종합적인 평가 결과
성질 (Property)	물건이 원래 가진 본성으로, 이것에 의해 다른 물건과의 구별 가능

표 3.92 성능관련 용어의 정의 (영국 규격안, Harrison)

용어	정의	나사못의 예
환경 (Environment)	어떤 것의 성능에 영향을 미치는 모든 외적인 물리적 조건	막사의 욕실 도어 핸들의 나사못
기능 (Function)	어떤 목적을 달성하기 위한 역학의 형태	접합하는 것
요구시능 (Functional Requirement)	요구기능의 정성적 표현	내구성이 있을 것
성능 (Performance)	정량적으로 표현한 사용시의 거동	주어진 환경에서 10년간의 내용년수를 지님
요구성능	요구기능의 정량적 표현	10년간의 내용년수를 확보할 것

(Performance Requirement)		
성능시험 (Performance Test)	어떤 것의 성능을 확인할 수 있는 데이터를 얻을 수 있는 시험	어떤 실험조건 하에서 정해진 시간 방치해도 부식되지 않는 것을 시험함
성능평가 (Performance Assesment) (Performance Evaluation)	어떤 것의 성능을, 요구 성능과 비교하는 것	10년간의 내용년수라는 요구 성능에 대한 나사못의 내구성을 알기 위해, 성능시험의 결과와 비교검토함
성능시방 (Performance Specification)	어떤 것에 요구되는 성능을 정한 시방으로서, 시험방법까지 포함 가능	성능시험의 경과, 나사못이 소정의수준에 적합할 것
성능표준 (Performance Standard)	어떤 것의 성능에 대한 승인된 적정 수준(Agreed Acceptance Level) ※ 이 용어는 반드시 확보해야 하는 수준과, 확보만 하면 되는 수준의 어디에나 사용할 수 있으므로, 어느 쪽을 말하는 지 명확히 표시해야 함	1) 확보해야 하는 수준 (Criterion) : 영국규격의 성능시험에 규정된 수준 이상일 것 2) 확보한 수준 (Achievement) 영국규격의 성능시험에 규정된 수준을 확보할 것
특성 (Characteristic)	어떤 물건의 하나의 특성	나사못의 홈이 파여 있음
성질 (Property)	어떤 물건의 본질적이 아닌, 다른 것과는 관계없는 그 자신의 본질적인 성질	길이가 15㎜ 임
성질 (Attribute)	어떤 물건의 본질적이 아닌, 다른 것과의 관계에 의해서만 정해지는 성질	나사못은 다른 물건에 돌려 넣을 수 있음

(2) 국내·외 성능중심 설계를 위한 인간의 요구사항

건축의 성능은 건축에 대한 인간의 요구가 그 출발점이며, 근본이기도 하다. 건축에 대한 인간의 요구에 대해 세계 각국에서 검토가 이루어져 왔으며, 그 대표적인 것 중 하나가 CIB W45 [인간에 요구와 건축설계] 위원회가 분류하여 정리한 인간의 요구이다. 다음은 인간의 요구에 대한 분류 항목을 표로 나타낸 것이다.

표 3.93 인간의 요구에 대한 분류 항목(CIB W45)

· 음에 관한 요구 · 냄새 및 호흡에 관한 요구

· 촉감에 관한 요구 · 시각에 관한 요구 · 온도 · 습도에 관한 요구 · 건물의 진동 · 변형에 관한 요구 · 자기, 전기, 이온, 일조, 방사선에 관한 요구 · 안전성에 관한 요구 · 프라이버시에 관한 요구 · 생활에 관한 요구 · 돌발사고나 재해에 관한 요구 · 경제성에 관한 요구

국내의 경우 건축물의 신축시 건물이 충족해야 하는 사용자의 요구조건을 KS F ISO 6241 : 2001(건축물 성능 표준)에 명기 하여 여러 범주들로 구분하여 수록하여 적용하도록 하고 있다.

표 3.94 인간의 요구에 대한 분류 항목(KS F ISO 6241 : 2001(건축물 성능 표준)

구분	예
1. 구조적 안전에 대한 요구 조건	- 개별적이며 복합적인 정적, 동적 작용에 대한 구조적 저항 - 충격, 고의성을 불문한 오용, 사고에 대한 저항 - 주기적(피로)효과
2. 화재 안전에 대한 요구 조건	- 화재의 발생 및 화재의 확산 위험 - 연기나 열에 의한 생리학적 영향 - 경보 시간(탐지 및 경보 시스템) - 대피 소요 시간(피난 경로) - 체류 허용 시간(방화 구획)
3. 사용 안전에 대한 요구 조건	- 위험한 동인(폭발, 발화, 예리한 부분이나 모서리, 이동 기계장치, 감전사, 방사능, 독성 물질과의 접촉 또는 감염)으로부터의 안전 - 이동 및 활동 중의 안전(바닥의 미끄럼 제한, 장애물이 없는 통행, 가드레일 등) - 사람 또는 동물의 침입에 대한 안전
4. 밀폐에 대한 요구 조건	- 수밀성(비, 지하수, 음료수, 폐수 등) - 공기나 가스에 대한 기밀성 - 눈과 먼지에 대한 기밀성
5. 온습도에 대한 요구조건	- 기온, 방열, 공기 속도, 상대습도(시간적, 공간적 변이 한계, 조절 반응) - 결로의 조절
6. 공기 청정도에 대한 요구 조건	- 환기 - 냄새 조절

7. 음향에 대한 연구 조건	- 내부・외부 소음 조절(간헐적, 지속적) - 음의 인지 - 잔향 시간
8. 시각적 요구조건	- 자연광과 인공광(요구되는 조도, 광도 대비, 안정성) - 일광(차단) - 어두워질 가능성 - 공간과 표면형태(색상, 질감, 규칙성, 평탄, 수직도, 수평도, 직각도 등) - 내부・외부와의 시각적 접촉(사생활 보호를 위한 연결 및 차단, 광학적 비틀림의 제거)
9. 촉각적 요구조건	- 표면의 특성, 거침, 건조함, 따뜻함, 유연함 - 정전기의 차단
10. 동역학적 요구 조건	- 건축물 전체의 진동 한계(일시적 및 연속적) - 바람이 잦은 지역에서 통행의 쾌적성 - 이동 용이성(램프의 경사, 계단의 경사) - 기동성(문, 창문, 조절 장치의 작동 등)
11. 위생에 대한 요구 조건	- 인체의 보건 관리와 청결을 위한 시설 - 급수 - 청결 - 폐수와 폐기물, 매연의 배출 - 오염물의 배출 제한
12. 특수 공간의 적정성에 대한 요구 조건	- 공간의 수, 규모, 기하학적 형태, 분할, 상관관계 - 설비의 장치 - 가구의 비치 여부, 융통성
13. 내구성에 대한 요구 조건	- 정기적인 유지 관리 하에서 요구되는 유효 수명 기간 중 요구되는 성능 유지
14. 경제적 요구조건	- 투자비용, 운영 및 유지 보수비용 - 해체 비용

(3) 설계 관련 기준서 정의

건설공사 설계 관련한 각종 기준서의 정의는 다음과 같다.

① 설계기준

각 시설물별로 설계자가 설계업무를 수행하는 데 있어 시설물이나 작업에 대해 품질, 강도, 안전, 성능 등을 유지하기 위한 설계조건의 한계(최저한계)를 규정한 기준으로서, 건설기술관리법 제 34조 1항에 준하는 기준을 말한다(설계화 관련된 시설기준을 모두 포함함).

② 지침

설계 감리 및 시공관리 등에 필요한 기술적인 사항들에 대하여 특별히 시설물별

로 적절히 응용함으로서 건설공사에 도움이 될 수 있게 세부적인 사항을 관리할 수 있는 기준을 지침으로 정하여 시행하도록 만든 도서를 말한다.

③ 편람

시설물의 계획, 조사, 설계, 감리, 시공, 유지관리 등의 전 단계에서 나열할 사항을 기본으로 하여 특별한 작업과 관련되지 않아 기준에 기술하기에 곤란한 사항, 시술자가 효율적인 업무수행을 위하여 필요한 사항들을 작성하여 실물에 쉽게 활용하도록 만든 도서를 말한다.

④ 요령

설계 감리 및 시공의 기술기준과 재료시험방법 작성 등에 대하여 기술자가 능률적으로 업무를 수행할 수 있도록 설계 감리 및 시방서나 자재규격의 범위를 쉽게 풀이하여 작성한 업무요령을 말한다.

⑤ 표준도

교각, 암거, 옹벽 등의 구조물에서 유사한 설계빈도가 많고, 공법 및 설계기준 등이 동일한 구조물에 대하여 설계 및 시공단계에서 적용하거나, 참고할 수 있도록 표준화하여 설계기간과 반복공사의 공정을 적정하게 단축하기 위하여 도면형식으로 만든 도서를 말한다.

⑥ 기술지도서

신기술 및 외국기술 도입에 따른 새로운 설계 감리 및 신공법, 신개발자재, 시험방법등과 특정한 분야별 작업방법 및 이와 관련된 사항을 홍보하여 공사수행시 현장실무자들이 쉽게 활용할 수 있게 만든 도서를 말한다.

(4) 시공관련 시방서 정의

건설공사 시공관련 기준 중 시방서와 관련한 정의는 다음과 같이 시방서 유형별로 정의하고 있다.

① 표준시방서

시설물의 안전 및 공사시행의 적정성과 품질확보 등을 위하여 시설물별로 정한 표준적인 시공기준으로서 발주청 또는 설계 등 용역업자가 공사시방서를 작성하는 경우에 활용하기 위한 시공기준을 말한다.

② 전문시방서

시설물별 표준시방서를 기본으로 모든 공종을 대상으로 하여 특정한 공사의 시공 또는 공사시방서의 작성에 활용하기 위한 종합적인 시공기준을 말한다.

③ 공사시방서

공사시방서는 표준시방서 및 전문시방서를 기본으로 하여 작성하되, 공사의 특수성 지역여건 공사방법을 고려하여 기본설계 및 실시설계도면에 구체적으로 표시할 수 없는 내용과 공사수행을 위한 시공방법, 자재의 성능·규격 및 공법, 품질시험 및 검사 등 품질관리, 안전관리계획 등에 관한 사항을 기술한 것으로 건설공사의 계약도서에 포함된 시공기준을 말한다.

2. 성능기준 개발 대상 및 범위

가. 성능기준 개발 목표

건축 기계설비분야 성능 중심 건설기준 개발의 목표는 다음과 같다.

(1) 성능중심 설계기준 구축

현재의 국내 설비설계기준은 범용사양 제시에 의한 기준으로 구성이 되어있어 설계자가 일률적으로 건축물 설계시 적용하도록 하고 있다. 이는 건축물 사용시의 에너지효율, 환경의 영향, 생애주기비용(LCC), 위험성 회피 등이 전혀 고려되고 있지 않고 있다. 따라서 설계시 위의 내용을 건축물의 종류와 사용조건별 설계 기준자료의 제정과 이러한 자료의 적용에 의해 건축물 기계설비 성능을 정량적으로 산출하여 각 건물의 설비 성능을 파악할 수 있는 설계기준의 구축이 필요하다.

(2) 시공기술 성능기준 연구

시방서 부분에 대하여는 공사의 계획·설계단계에서부터 공사품질과 성능의 유지를 위한 관련사항들을 명시하도록 하고 특히 해당 공사항목에 연관된 자재, 장비, 시스템 평가에 대하여 명확한 기준을 제정하여 제시할 수 있도록 하여야 한다. 시공기술기준에 대하여는 각 설비기술 시스템별 성능평가 기준방법, 사후관리 등에 대하여 현황 조사를 실시한 후 이에 대한 합리적인 방법을 제안하여야 한다.

(3) 자재 및 장비류의 성능기준 연구

65)국내 건축기계설비분야 설계도서류에서는 자재, 장비류에 대한 사양이 용량 또는 외형 위주로 되어 있으며 이는 성능과 내구성 등이 무시되어 적용되고 있다. 성능중심의 기술기준의 적용을 위하여는 현재 건축기계설비의 에너지효율, 환경영향, 수명에 영향을 주는 주요자재와 장비에 대한 성능기준, 사양, 구조, 성능시험방법 등에 대한 기준을 제정하도록 하여 제품의 품질 향상이 되도록 하고 이를 기준에 적용할 수 있도록 하여야 한다.

(4) 국내 건축기계설비 기술자의 해외 적응력 배양

국내 건설산업은 주로 시공을 중심으로 해외시장에 참여하고 있으나, 앞으로는 계획, 설계, 감리, 유지관리 등 고부가가치 기술 분야로 영역을 확대하여 세계의 건설산업을 주도하여야 한다. 이렇게 하기 위한 과제로는 국제적으로 적용되는 설계 및 시공기준에 대한 표준의 적용이 매우 중요하다. 세계의 건설 시장에서 건축기계설비에 대한 설계는 현재 주로 유럽과 미국에 기반을 둔 설계기술로 되어 있으나 향후 국제적인 ISO 규격을 채택할 가능성이 크다. 따라서 우리나라에서는 건축기계설비분야의 ISO 기준의 적극적인 도입과 이에 대한 국내설계 및 시공분야의 기준제정 등을 통하여 성능중심의 우리의 설계기준의 국제기준 적용력을 높여야 한다.

나. 성능기준 개발 대상

향후 건축기계설비분야 성능기술기준 제정을 위한 주요 연구 대상은 다음과 같다.

(1) 국내외 성능중심의 건설기준분석 개선제안, 작성기준개발

① 미국, 유럽, 일본 등 선진국의 건축기계설비 분야 성능중심 건설기준 추진동향, 적용사례 및 연구 동향 분석

② 국내와 해외의 건설 공사비교 및 국내기준의 국제화 적용방안 연구

③ 국내의 건설기준 관련제도 조사 분석 및 기술종류별 건설기준 정비를 위한 로드맵 도출

---

65) 박종일, 설비용 장비 표기방법 개선, 2004

④ 성능중심 기술기준 작성방법 도출 및 지침서 작성

⑤ 각 제정예정 기준별 세부계획 및 내용 작성

(2) 건축기계설비분야 성능중심의 기준제정 및 정비

① 성능중심의 건축기계설비 시공기준 개발

② 급배수위생설비 기술기준 개발

③ 건축기계설비 표준상세도 개정

④ 건축기계설비공사 표준시방서 개정

⑤ TAB, 커미셔닝 기술기준 개발

⑥ 건축기계설비 설계기준 개정

⑦ 환기 설비기준 개발

⑧ 온열 환경 시험평가기준 개발

⑨ 자동제어기술기준 개발

다. 성능기준 개발대상별 내용

(1) 국내외 성능중심 건설기준 분석 및 작성기준 개발

건축기계설비 분야 기술종류별 건설기준 정비를 위한 로드맵 도출하고 미국, 유럽, 일본 등 선진국의 건축기계설비 분야 성능중심 건설기준 추진동향, 적용사례 및 연구동향을 분석한다. 이를 바탕으로 성능기술기준 작성방법 도출과 지침서를 작성한다.

(2) 성능기술기준 작성기준 개발

성능기술기준 개발은 현재 적용중인 국내기술기준에 대하여 성능중심 기준을 작성하여 국제 시장에서 설계 및 시공 기술 경쟁력을 확보하여 장기적으로 성능기준 제시를 통해 설계 및 시공자의 기술개발을 유도하고, 이를 통해 국가 기술경쟁력을 제고하도록 한다.

(가) 건축기계설비 시공기준 개발

건축기계설비공사 표준시방서의 내용 및 표준상세도에 대하여 현장에서 실제 시

공에 적용할 수 있는 시공방법, 기준 등의 개발

(나) 급배수 위생설비 기술기준 개발

급배수 위생설비의 계획설계시공에 대한 전반적인 기술기준의 개발

(다) 건축기계설비 표준상세도 개발

실제 시공과 신기술, 신자재 적용을 위한 건축기계설비 상세도의 개발

(라) 건축기계설비공사 표준시방서 개정

건축기계설비 공사 표준시방서의 성능중심내용으로 전환 및 신기술, 신자재 적용.

(마) TAB, 커미셔닝 기술기준 개발

건축기계설비 TAB와 커미셔닝 수행을 위한 표준 기술 기준제정

(바) 자동제어기술기준 개발

자동제어설비의 계획 설계 시공에 대한 전반적인 기술기준의 개발

(사) 온열 환경 시험평가기준 개발

건축물 실내 온열환경에 대하여 재실자의 만족도를 도출 할 수 있는 평가기준 개발

(아) 건축기계설비 설계기준 개정

건축기계설비공사 설계기준의 성능기준으로 보완 및 신기술, 신자재, 해외자료의 적용

(자) 환기 설비기준 개발

실내환경개선을 위한 환기설비설계 및 시공기술기준 제정. 에너지절약, 소방방재 및 소음방지기술을 적용한 현실적인 환기기준 제시

3. 성능기준 개발방법

성능기술기준 연구를 수행하기 위해, 연구 그룹을 시공기술 연구팀, 엔지니어링기술연구팀으로 구성하고, 건축설비분야의 공조/냉동설비, 위생설비, 자동제어설비, 환경설비 등 기본 분야의 설계, 시공, 유지관리의 전문가와 관련 학계, 연구소, 관공서의 전문가로 구성된 조정위원회로부터 각 분야별 의견을 조정하여 국내외의 관련기준과 제도를 정리 분석하여 연구를 수행한다. 성능기준에 의한 기술기준을 제정하기 위한 연구를 수행할 추진체계는 그림 3.55와 같다.

또한 본 연구 결과를 통해 수립될 성능중심의 기술기준 제정과 본 기술기준을 활용하여 구성하기 위한 연구단계별 로드맵은 그림 5.56과 같다.

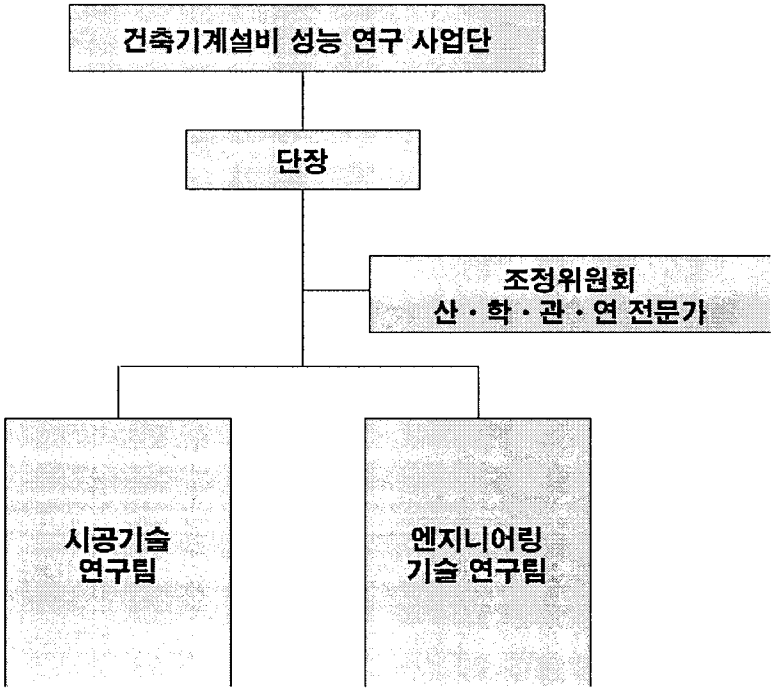


그림 3.55 연구수행 추진체계

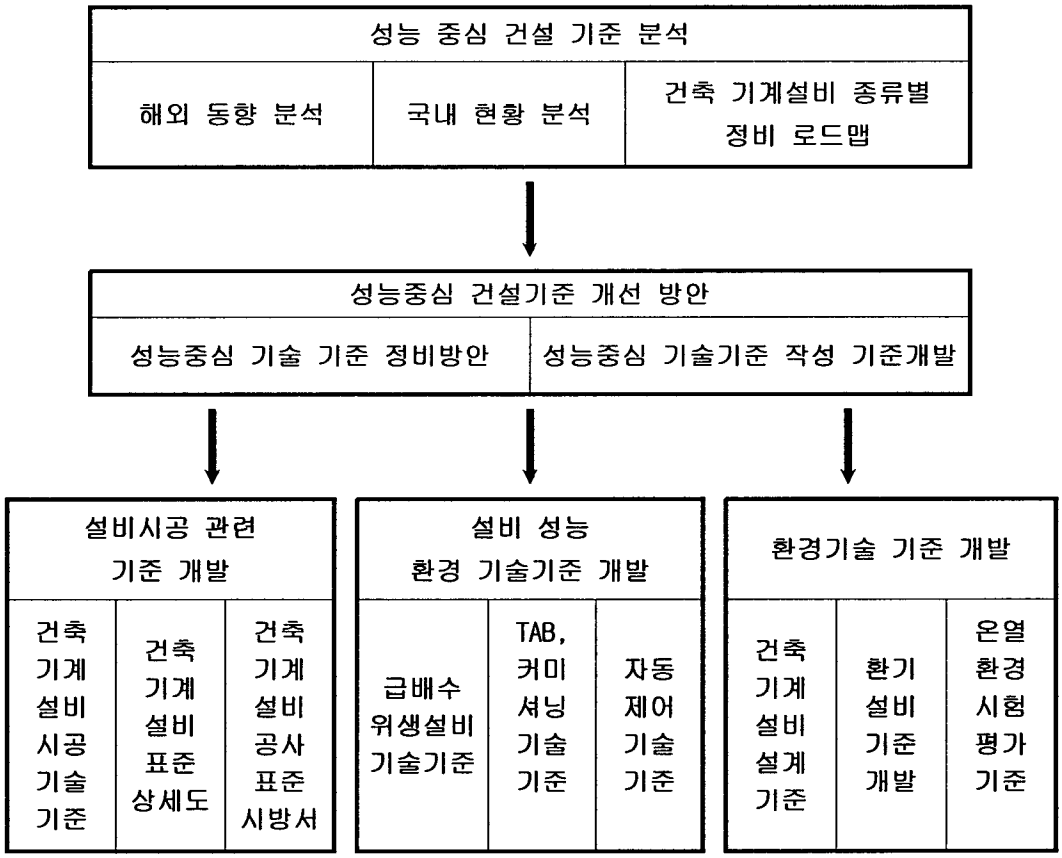


그림 3.56 연구단계별 로드맵

4. 성능기준 작성지침

가. 건축기계설비공사 시공기준

(1) 목적

건축기계설비공사의 표준시공기준 제시하여 실제 시공에 적용하는 시공방법을 작성하고 이를 성능 중심 기타 기준에 적용할 수 있도록 하여 설기 기술 표준화 및 기술수준향상이 이루어지도록 한다. 현재 설비시공에 대한 적절한 기준과 지침서의 제시가 되어있지 않아 표준화된 시공이 원활하게 되고 있지 않고 있다.

(2) 추진방향

각 시공사가 적용하고 있는 시공기준의 수집, 해외관련자료를 도입하여 건설현장에서 적용가능하고 공사품질을 높일 수 있는 내용으로 시공방법 및 기준을 작성한다.

나. 급배수 위생설비기준 제정

(1) 목적

국내에서는 위생의 중요성에 비하여 적정한 기술기준이 제정되어 있지 못하고 있어 위생분야의 설계시공을 위한 기술기준 제정하도록 한다.

(2) 추진방향

각 시공 공종별 기술내용 조사를 통하여 현재의 수준과 요구사항 조사 후 위생설비의 설계와 시공을 위한 기술기준 작성하도록 한다.

다. 건축기계설비 표준상세도

(1) 목적

국내에서는 엔지니어링 각사별로 표준상세도를 보유하고 활용하고 있음 이러한 내용에 대하여 기 작성된 표준상세도의 내용보완을 통해 적용성 제고하고 최근 적용되고 있는 새로운 시공내용에 대한 표준상세도 제공을 하여 시공표준화를 기한다.

(2) 추진방향

현재 각 엔지니어링사가 적용하고 있는 기준의 수집, 해외관련자료의 도입을 통하여 국내실정에 적합하도록 도면화 한다.

라. 건축기계설비공사 표준시방서 개정

(1) 목적

국내에서는 엔지니어링 각 사별 기 제정된 표준시방서의 내용을 성능중심으로 작성하여 시공품질 향상, 설비수명 연장, 하자의 감소 및 원가 절감을 기한다.

(2) 추진방향

개정을 위한 상설위원회 구성을 하여 신기술, 신자재적용 위한 자료수집, 현 시방서의 산업계에서의 의견조사, 이를 위한 기초자료 작성하며, 이를 통하여 성능중심 내용으로 전환한다.

마. TAB 커미셔닝 기술기준

(1) 목적

표준기준 제정에 의해 TAB기술 수준향상을 하고 이를 통하여 설비품질향상, 건물에너지절약, 수명연장을 할 수 있도록 한다.

(2) 추진방향

국내 각 사에서 적용하고 있는 기준에 대하여 수집하여 표준기준을 작성하고 해외 관련 자료의 도입을 통하여 적합한 기준 제정하여 국내 설비산업의 기술 수준을

높일 수 있도록 한다.

바. 자동제어 기술 기준

(1) 목적

국내에서 적용되고 있는 자동제어 분야에 대하여 표준화된 설계와 시공이 이루어지도록 표준을 제시하고 또한 요구 성능 제시와 이에 대한 검증방법을 작성한다.

(2) 추진방향

국내외 각 시스템별 기술 기준을 수집 검토하여 국내에 적용 가능하고 자동제어 품질 수준을 높일 수 있는 내용으로 작성한다.

사. 온열환경 시험평가 기준

(1) 목적

준공된 건물 또는 사용 중인 건물에 대하여 재실자들이 온열환경에 대한 만족감을 측정하여 동일한 사항이 재현될 수 있는 시험 평가 기준을 작성한다.

(2) 추진방향

국내에서 각 부분별 평가기준의 조사와 해외 관련 기준분석을 하고 이를 국내 실정에 적합하도록 작성한다.

아. 건축기계설비 설계기준

(1) 목적

기 제정된 설계기준의 내용에 대하여 신기술, 신자재, 해외자료를 적용하여 성능기준 설계기준을 제정한다.

(2) 추진방향

개정을 위한 성설위원회 구성을 통하여 신기술, 신자재적용 위한 자료수집, 현 설계기준의 산업계에서의 의견조사, 이를 위한 기초자료 작성하고 이를 성능기준에 적합하도록 제정한다.

자. 환기설비기준 제정

(1) 목적

실내 환경개선을 위한 환기설비 설계 및 시공기술 제정하여 에너지 절약, 소방방재, 소음 방지기술을 적용한 재실자의 건강과 안전을 목적으로 하는 기준 제시하도록 한다.

(2) 추진방향

각종 오염원별 제어방법과 환경 개선방법 제시 소방법, 건축법과 연계한 환기기준 작성한다.

제 8 절 건축전기설비분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발

1. 건축전기설비분야 성능기준의 개념 및 특성

가. 개요

건축물에서 쾌적한 주거환경을 조성하고, 원활한 기능적 활동을 도모하려면 전기설비의 설치는 필수적이다. 건축물에 시설되는 전기설비에는 건물 내의 쾌적한 환경을 조성하는 요소인 조명 환경, 적정한 온·습도 유지, 안전하고 정전없는 전기공급을 위한 수변전설비, 전력부하설비, 전원공급설비 등이 시설되어야 하고, 이들을 제어하는 제어시설, 정보 전달의 통신시설, 또한 사고나 재해시에 신속성을 갖도록 하는 보안설비와 건물 시설의 복잡화와 다양화에 상응하는 시설의 유지관리설비 등을 포함하고 있다.

이와 같이 구성되는 전기설비는 건축물의 용도와 종류에 따라 다르며, 또한 요구되는 성능과 품질 등이 다르다.

종래 건축물에서 일반적으로 구성되는 전기설비는 기본적인 성능 외에 신뢰성, 안전성, 경제성, 유지관리성, 효율성, 에너지절약성, 난연성, 내구성, 환경성, 내진성, 경제성, 생애주기비용 등에 대한 성능 수준이 그다지 높게 요구하지 않지만, 최근의 건축물에서는 순간 정전도 허용하지 않는 민감한 전기기기의 사용이 급증하면서 정보화 건축물이나 300 m 이상의 초고층 건축물 등에 관계없이 전기품질에 대한 성능뿐만 아니라 신뢰성, 안전성, 난연성, 유지관리성, 효율성, 적정성, 에너지절약성, 친환경성, 내진성, 경제성, 내구성, 생애주기비용 등에 대한 성능 수준이 크게 높아지고 있다.

건축물에 시설되는 전기설비에서 요구되는 기본적인 성능은 신뢰성 성능, 안전성 성능, 난연성 성능을 비롯하여 효율성 성능, 에너지절약성 성능, 합리성 성능, 적정성 성능, 친환경성 성능, 내진성 성능, 내구성 성능, 경제성 성능, 생애주기비용 성능 등이 고려되어야 하며, 서로 관계가 깊은 성능을 통합하여 건축전기설비에서의 핵심성능으로는 신뢰성, 에너지절약성, 친환경성, 내진성, 생애주기비용 성능으로 나타내고자 한다. 다음 표는 건축전기설비의 요구 성능과 핵심 성능을 나타낸 것이다.

표 3.95 전기설비의 요구 성능과 핵심 성능

전기설비의 요구 성능	핵심 성능
신뢰성	신뢰성
안전성	
난연성	
에너지절약성	에너지절약성
효율성	
적정성	
합리성	
환경보전성	친환경성
내진성	내진성
내구성	생애주기비용(LCC)
경제성	
생애주기비용(LCC)	

나. 핵심 성능의 특성

(1) 신뢰성 성능

일반적으로 적용되는 '신뢰도'의 의미는 수용가에 대한 전력공급의 지속성을 의미한다. 신뢰성 있는 계통은 정전 없는 전력을 공급하는 것이다. 배전계통의 신뢰도 해석에 있어서의 가장 중요한 차이점의 하나는 단전(outage)과 정전(interruption)이라는 두 단어의 차이점이다. 그것들은 매우 다른 의미를 가지며, '단전(outage)'은 전력 공급계통의 어떤 부분의 완벽한 고장(변압기 사고, 선로의 분리 등)을 의미하며, '정전(interruption)'은 일반적으로 단전에 기인한 하나 이상의 수용가(또는 전기기기 등)들이 전력공급의 중단을 의미한다.[66]

신뢰도 해석에는 두 가지 측면이 있으며, 그것은 정전의 빈도와 지속시간이다. 따라서, 신뢰도 평가는 단전(outage)에 의한 정전(interruption)의 빈도와 지속시간을 평가하는 것이다. 다시 말해서, 얼마나 많은 수용가들이 얼마나 오랫동안 수용가내

66) 김세동, 전력품질 향상을 위한 전원설비의 신뢰도 향상대책 기술, 전력기술인, 2001.1

전력공급계통 내의 설비나 특정 부분에서의 단전에 의해 정전을 경험하는가 하는 것이 전력공급계통 신뢰도 평가의 핵심이다. 이것은 수용가내 전력공급계통의 레이아웃(layout)에 의해 절대적인 영향을 받는다. '전력공급계통의 레이아웃'이란 기본적인 계통의 수변전설비 및 전력간선의 구성 형태와 구성 설비의 특성을 포함한 전반적인 전력공급계통을 의미한다. 따라서 수용가내 전력공급계통에서의 신뢰도 해석에서는 다음과 같은 변수들이 존재한다.

① 전력공급계통의 구성(topology) : 수변전설비, 간선 및 분기선의 길이, 위치 및 선로 각 부의 설비 종류 및 위치 등

② 계통 사고율(failure rate) : 간선, 분기선의 사고율 차이, 선로 각 부의 설비의 사고율 등

③ 보호 기기 및 사고 복구기기들의 동작 특성 : 보호기기의 동작 특성(인터록의 수행 여부 등)과 사고 복구를 위한 개폐기의 동작 속도 및 특성, 원격감시시스템 자동화의 수행 여부 등

④ 정전의 지속시간에 대한 정의 : 일반적으로 국내의 경우 5분을 정전 지속시간의 경계로 하고 있으나, 국외의 경우 1분이나 2분을 그 기준으로 사용하고 있다.

⑤ 계획 정전과 불시 정전의 포함 여부 : 수용가에 발생하는 정전은 크게 계획정전(scheduled interruption)과 불시 정전(forced interruption)의 두 가지로 구분된다. 많은 전력회사에서는 신뢰도 보고에 계획된 정전이나 계통 사고에 관계되지 않은 정전을 제외하며, 종종 정전 통계에 혼란을 가져오기도 한다.

신뢰성 향상 측면에서의 정전시간의 최소화 대책 및 부하의 중요도별 공급방안에 대해서 검토하면 다음과 같다.

(가) 평균정전시간의 최소화 대책

전원시스템의 공급신뢰성 향상은 주로 고장률의 저하 및 평균 고장 정지시간의 최소화에 의해서 달성할 수 있다. 고장률의 저하는 전기기기의 품질 향상 및 정격 선정 등 하드웨어상의 방법에 의해 구체화가 가능하고, 평균 고장 정지시간의 최소화는 시스템의 이중화 등의 융통성을 확보한 계통 구성 및 고장 제거 시간과 제거 범위의 최소화, 복구 시간의 단축을 도모한 보호계전방식 등 주로 시스템상의 방법에 의해 구체화시킬 수 있다.

여기에서는 평균 고장 정지시간의 최소화를 도모한 전원시스템을 계획할 경우의 유의점에 대해서 기술하고자 하며, 다음 그림은 전원설비의 신뢰도 향상을 위한 기

본적인 단선도를 나타낸 것이다.

① 부하 단위별로 2계통으로 공급한다. 즉, 하나의 계통을 점검할 경우 다른 계통으로 급전할 수 있고, 또 절환부의 점검은 각 부하단위의 점검과 맞추어서 실시한다.

② 하나의 계통에서 장해가 발생할 경우 각 부하단위는 상기 2계통을 절환해서 사용한다.

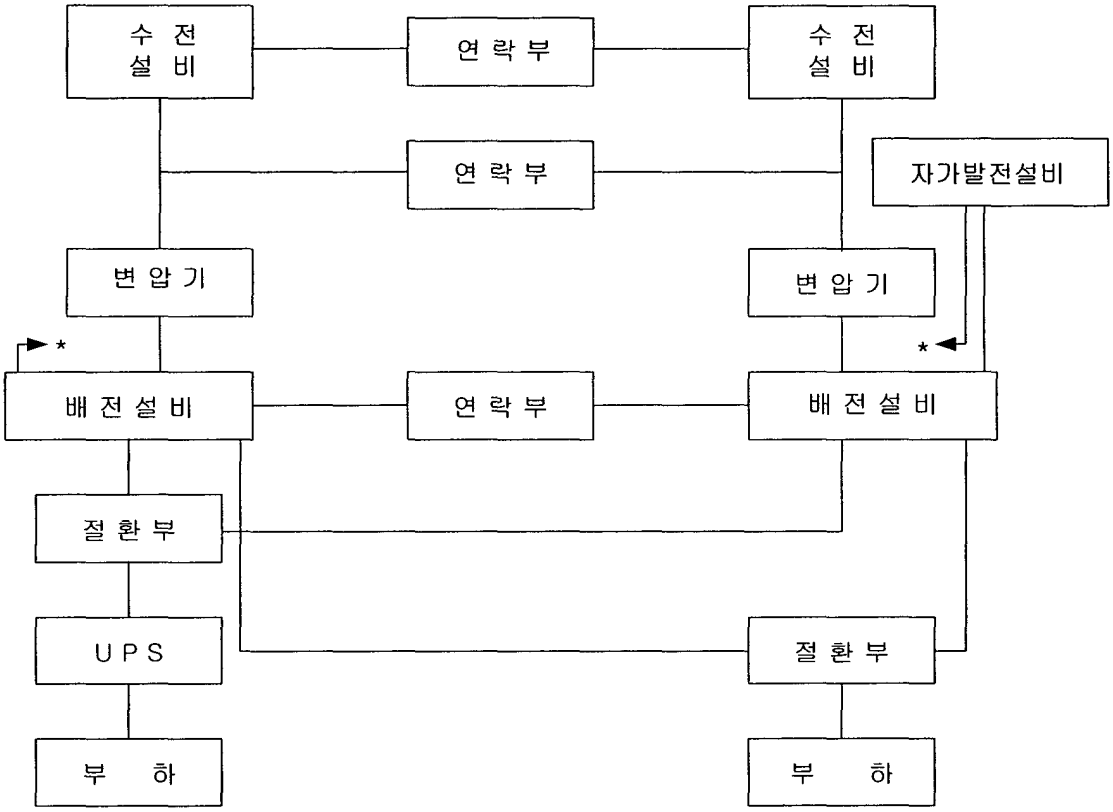


그림 3.57 전원시스템의 신뢰도 향상을 위한 단선도

③ 2계통의 모선을 연결하도록 하고, 모선 연락차단기를 직렬로 하며 각각 다른 패널에 수납하여 모선 점검 중에도 모선 연락차단기 및 패널의 점검을 가능하게 한다.

④ 사고 파급 범위를 최소화 하기 위해 보호계전방식을 검토하고, 보호 협조를 확실히 행하도록 한다.

⑤ 상용 계통의 정전대책으로서 비상용 자가발전설비를 설치한다.

⑥ 상용 계통의 정전 및 순시 전압저하 대책으로서 무정전전원장치(UPS)를 설

치한다.

(나) 중요부하의 전력공급 구성 방법

전원시스템의 고신뢰성을 장기간, 연속해서 유지하기 위해서는 적절한 운용과 보전이 필요 불가결하다. 전원시스템의 공급신뢰성과 보전성을 향상시키기 위해서는 완전 예비계통을 구성한 융통성있는 시스템으로 구성하는 것이 바람직하지만, 실제 계획시에는 제한된 설비비와 설치공간을 고려하지 않으면 안 되기 때문에 부하설비의 중요도에 따라 전력공급 계통을 구성하는 것이 중요한 과제이다.

부하용도별 전력공급이란 부하의 용도가 어떠한 것인가를 조사하고 용도별(중요도별)로 전력공급 방법을 검토하는 것이며, 표 3.96에 부하의 중요도에 따른 전력공급의 구성 방법을 나타낸다.

(다) 수변전 및 배전설비의 계통 구성 방법

① 수전 방식

수전 방식은 신뢰성과 경제성 면에서 충분히 검토되어야 하며, 시설 현장 여건에 따라 가공방식 및 지중 인입방식 등이 결정된다. 신뢰성을 향상시키기 위해서는 루프수전 및 상용·예비선 2회선 수전방식, 스포트네트워크 수전방식 등이 권장된다. 또한 계량용 PCT는 PCT 교환시 전원차단을 고려하고 2 PCT 또는 1 PCT 바이패스 방식으로 한다.

② 특별고압 변압기의 뱅크 구성

특별고압 변압기의 뱅크 구성은 운용방법, 2차측의 차단용량 및 전압변동 등에 따라 검토해야 되며, 신뢰도 향상을 위해서는 다음과 같은 사항을 유의한다.

㉠ 변압기 대수는 1 뱅크의 고장시를 고려하여 2대 이상으로 한다.

㉡ 변압기의 임피던스는 2차측 차단용량 및 전압변동을 검토하여 결정한다. 또 변압기의 병렬운전은 2차측 차단용량을 크게 할 우려가 있으므로 유의한다.

㉢ 변압기 1차측 개폐기는 차단기를 채용하고, 만일의 장해가 발생할지라도 해당 변압기 계통만 분리하도록 계획한다.

표 3.96 부하의 중요도별 전력공급 구성방법

부하 용도	부하 예	간선의 이중화	비상용 자가발전설비	UPS
순간정전을 허용하지 않는 부하	대형 컴퓨터부하	○	○	○
정전후, 단시간 내에 전력 공급이 필요한 부하	방재부하, 컴퓨터용 공조, 열부하, UPS실의 공조, 보안용 부하, 비상용 자가발전설비의 보조기기	○	○	×
모선 점검시에도 전력공급이 필요한 부하	일반부하1(공용부의 공조, 조명 등)	○	×	×
정전시는 계속 운전이 필요하고 모선 점검시에는 정지가능한 부하	일반부하2(일반 공조, 조명 등)	×	○	×
모선 점검시에 정지가능한 부하	일반부하3(비중요부하)	×	×	×

③ 비상용 자가발전설비

비상용 자가발전설비는 예고치 않는 사고 및 재해 등으로 정전이 발생할 경우에 대비하여 설치된다. 발전기 대수는1대 점검시를 고려하여 2대 이상을 하고, 분할된 모선 각각에 발전기 전원을 접속하도록 한다.

발전기 용량은 소방법과 건축법, 기타 관련 법규에서 규정하고 있는 부하기기와 보안상 필요한 부하기기의 용량을 고려하여 산정한다.

④ 주회로 모선 구성

주회로의 모선 구성은 설비의 중요성 및 수전방식, 주변압기 병렬운전의 구성, 설비용량, 자가발전설비의 접속, 모선 점검시의 구성방법, 분기회로수, 설치 기기 등을 고려하여 결정한다. 신뢰도 향상을 위해서는 2계통의 모선을 연결하도록 하고 모선연락차단기를 2대 직렬로 설치하여 보전성을 확보하는 것이 바람직하다. 그러나 경제성을 고려하여 단일모선에 모선연락차단기를 설치하여 신뢰성을 확보하는 방법도 있다.

⑤ 간선 배전 계통

간선 배전계통에 있어서는 일반적으로 실시되고 있는 저압 간선을 각 층 분전반

등으로 배전하는 방법이 고려되지만, 대규모시설의 저압 배전에서는 간선수가 많고, 간선의 규모가 시공성, 경제성, 장래의 확장성 등의 면을 충분히 검토하지 않으면 안 된다.

따라서 대규모 시설에 있어서 전원시스템에서는 고압 배전계통을 구성하고, 2차측 변전소를 설치하는 것이 바람직하다. 그리고 모선 연락차단기를 가지는 모선 구성은 간선을 이중화하는 것에 의해 모선·배전선의 점검 보수시에도 정전 범위를 최소화할 수 있으므로 신뢰도 향상을 위해서는 간선의 이중화를 고려하여 시설하는 것이 요구된다.

⑥ UPS 설비

상용 전원의 전압변동이나 주파수에 대해서는 물론 정전이나 순간 전압강하가 상용 전원에 생겨도 부하에는 한순간도 정전되는 일이 없이 항상 안정된 교류전력을 공급할 수 있는 무정전전원장치의 설치는 필수 불가결하며, 무순단 상용 바이패스 절환스위치를 설치한 단일시스템과 병렬 시스템, 더욱이 바이패스측에 공통의 UPS를 설치한 공통 예비 UPS시스템 등의 구성 방법이 있으므로 경제성과 설치 공간 등을 고려하여 검토한다. 또, UPS 및 축전지의 재배치시에도 부하를 정지하지 않도록 구성되어야 한다.

전원설비의 무정전화를 도모하기 위한 고신뢰도 전원시스템을 계획할 경우의 유의점과 구체적 구성 예를 들면 다음과 같다.

㉠ 수전방식은 상용 ·예비 2회선 수전으로 한다.

㉡ PCT는 1PCT 바이패스로 한다.

㉢ 특별고압 변압기는 2대로 하고, 1차 개폐기는 차단기를 채용한다.

㉣ 모선은 2계통으로 하고, 모선 연락차단기를 2대 직렬로 한다.

㉤ 비상용 발전기는 2대 이상으로 하고, 분할된 모선 각각에 접속한다.

㉥ 저압 간선은 이중화한다.

㉦ 부하의 용도별로 전력공급을 구분하고, 순간정전도 허용되지 않는 부하에 대해서는 UPS를 설치한다.

따라서 정전을 최소화할 수 있는 건축전기설비의 구성과 배려가 필요하며, 건축전기설비의 시설물별 또는 용도 등을 고려하여 성능레벨을 단계로 설정할 필요가 있다.

(라) 안전성 확보 성능

전기설비로 인한 사고는 크게 두 가지로 분류되는데, 전기화재 사고와 감전 사상 사고이다.

전기화재 사고는 전기설비의 누전이나 단락 등으로 인하여 열과 불꽃이 발생하여 일어나며, 감전사고는 충전되어 있는 전기시설물에 인체가 닿아서 발생하는 사고이다. 이러한 사고가 발생하지 않도록 하여야 하며, 전기설비기술기준 등에서 정하고 있는 기준을 준수하여야 하고, 다음과 같은 항목을 점검하여야 한다.[67]

① 상습 침수지역에서의 수변전설비 위치 및 형태

전기설비기술기준에서는 수변전설비에 준하는 설비 시설장소에 대해서 규정하고 있지 않으며, 내선규정에서 수전실 설치장소에 대한 제한 규정을 정하고 있다. NEC 450.41, IEC 61936-1, AS/NZS 3000에서 전기설비 설치장소에 대하여 정하고 있다. 다음 표는 수변전실 장소 선정에 대한 관련 규정사항을 나타낸 것이다.

표 3.97 수변전실 장소 선정 관련 규정

구분	장소 선정에 관한 내용	관련 규격
국내	수변전실 시설 장소에 관한 규정은 없음. 물이 침입하거나 침투할 우려가 없도록 조치한 장소, 고온 다습한 장소에 적당한 방호조치, 특수장소에서 격벽 등을 조치한 장소	기술기준 내선규정
미국	변전실은 가능한 한 파이프 또는 덕트를 사용하지 않고, 외부 공기와 직접 환기될 수 있는 장소에 위치하여야 한다.	NEC
호주	일반적으로 화염 물질, 습기, 지역, 환기 등을 고려하여 장소 선정	AS/NZS 3000
IEC	침수 및 오염에 대비를 한 장소, 염해 및 화학적 용인에 의해 영향을 받을 수 있는 지역에서는 그에 대한 보안시설을 한 장소	IEC 61936-1

② 울타리 시설 관련 규정

67) 배석명, 수변전설비의 안전 실태조사 및 대책 연구, 2007년 전기설비기술기준 워크샵, 대한전기협회, 2007.4

울타리 시설 관련 규정은 다음 표와 같이 정하고 있다.

표 3.98 울타리 시설 설치 관련 규정

구분	울타리 높이에 대한 규정	관련 규격
국내	울타리, 담 등의 높이는 2 m 이상, 지면과 울타리 사이의 하단 간격은 15 cm 이하일 것.	기술기준 내선규정
미국	펜스의 높이는 2.1 m(7ft) 이상 또는 1.8 m 이상의 펜스 위에 300 mm 철조망을 3개 이상 얹은 것	NEC
호주	관계자 이외의 사람을 확실히 금지하기 위하여 최소 2500 mm 이상의 높이로 벽 또는 울타리를 시설	AS/NZS 3000
IEC	외부 울타리, 벽은 적어도 1800 mm 이상으로 설치해야 하고, 울타리의 가장 밑 부분은 대지와 500 mm 이하로 설치	IEC 61936-1

③ 경고 표시 관련 규정

경고 표시 관련 규정은 표 3.99와 같이 정하고 있으며, 이 자료에 의하면 11.8%가 경고 표시되어 있지 않은 것으로 조사되었다.

④ 조명 및 작업공간 관련 규정

조명 및 작업공간 관련 규정은 표 3.100과 같이 정하고 있으며, 이 자료에 의하면 전기실 최소 조도인 150 룩스 이하(KS A 3011)인 곳이 전체 38%를 차지한 것으로 조사되었다.

⑤ 수변전실의 화재 방지 관련 규정

국내 전기설비기술기준에서는 전기설비를 시설하는 건물에 대해서 화재 방지에 대해 규정하고 있지 않으며, 건축법 시행령 제61조 제3항에서 자가발전기 등이 있는 실의 내화구조 및 불연재료를 사용하도록 정하고 있다.

화재 방지에 관한 규정은 표 3.101과 같이 정하고 있으며, 이 자료에 의하면 수변전설비가 있는 건물(실)의 바닥 재질이 방수형 페인트를 대부분 사용한 것으로 조사되었고, 방수 페인트는 난연성, 내화성 성분이 없어 화재시 위험한 것으로 지적하고 있다.

표 3.99 경고 표시 시설 규정

구분	경고 문구에 대한 규정	관련 규격
국내	출입구에 출입 금지의 표시를 할 것	기술기준
미국	NESC : 전압 레벨에 따라 경고 문구 및 도형 제시 NEC : 'DANGER HIGH VOLTAGE - KEEP OUT' 경고 문구 제시	NESC, NEC
호주	출입구에는 'AUTHORIZED PERSONS ONLY'의 단어가 포함된 문구가 40 mm(세로) 이상의 크기로 설명한 글씨로 작성, 전기울타리 경고 표시는 적어도 200 mm × 100 mm 크기로 'TAKE CARE - ELECTRIC FENCE' 문구와 도형 제시	AS/NZS 3000
IEC	경고 표시, 안전 주위 그리고 안전에 대한 정보 제공을 위해 전기설비 또는 출입문, 울타리 등 적절한 장소에 시설	IEC 61936-1

표 3.100 조명 및 작업공간 관련 규정

구분	조명 및 작업 공간에 대한 규정	관련 규격
국내	감시 및 조작을 안전하고 확실하게 하기 위하여 필요한 조명설비를 시설하도록 정하고 있으며, 내선규정에서 보수 점검에 필요한 공간 유지를 전압 구분에 따라 규정	기술기준 내선규정
미국	NEC는 작업시 전기설비 활선 부분에 작업시 최소 이격거리를 전압별, 주위 환경 조건별로 구분하여 거리를 정의, NESC에서는 전기기기 주위에 작업 가능하도록 조명 시설 설치 및 설비 종류, 위치별로 조도를 규정하고 있다. 차단기, 전원설비가 있는 공간은 적어도 110 룩스 이상 유지하도록 규정	NESC, NEC
IEC	변압기, 차단기 등 작동, 운전을 실행할 수 있을 정도의 공간을 확보해야 하고, 그 통로는 적어도 800 mm 이상을 유지	IEC 61936-1

표 3.101 화재방지에 관한 규정

구분	화재 방지에 대한 규정	관련 규격
국내	수변전실의 건물(방)에 관한 화재방지 규정은 없음	기술기준
미국	변전실의 벽과 지붕은 최소 3시간 내화도를 갖도록 적정한 구조적 강도를 가진 물질로 시공	NEC

호주	변압기, 배전반에서 발생할 수 있는 화재에 대해 자동방화장치 시설 등 화재를 최소화할 수 있도록 보호시스템을 규정	AS/NZS 3000
IEC	내부에 설치된 변압기 등의 문은 적어도 1시간 이상 내화성을 가져야 한다고 규정	IEC 61936-1

따라서, 안전성을 확보할 수 있는 건축전기설비의 구성과 배려가 필요하며, 건축전기설비의 시설물별 또는 용도 등을 고려하여 성능레벨을 단계로 설정할 필요가 있다.

(2) 에너지절약 성능

(가) 관계 규정

① 기후변화협약

기후변화협약 협정에 의한 환경 규제가 강화되고 있다. 1992년 6월 리우회의에서 채택된 기후변화협약에 우리나라는 1993년 12월에 가입(2000.5. 현재 184개국이 가입)하였고, 1997년 12월 일본 교토에서 개최된 기후변화협약 제3차 당사국 총회에서 '기후변화협약 교토의정서'를 채택하였다.

교토의정서의 주요 내용은, ① 선진국의 의무사항으로 온실가스 배출을 2008~2012년까지 1990년 수준으로 유지하기 위해서 평균 5.2% 감축, ② 배출권거래제도, 공동이행제도, 청정개발체제 등 교토메카니즘을 도입하는 것으로 하고 있다.

②) 우리나라의 배출 현황

국내 온실가스의 주요 배출원은 산업체 등의 에너지 사용 부문(66%)과 자동차, 폐기물매립지등의 환경 부문(27%)이며, 온실가스 배출량은 년간 1억4천만톤(TC)으로 세계 10위이다.[미국 : 1위(24.3%), 중국 : 2위(14%), 러시아 : 3위(10%). 우리나라 : 10위(1.9%)]

또한, 에너지 사용량이 급격히 늘어나고 있어 '90~'98년 기간 연평균 에너지 소비 증가율이 7.5%에 달하며, 이는 주요 OECD 국가 평균 1.6%에 비하여 매우 높은 편이다.[미국:1.7%, 일본:2.3%, 캐나다:2.1%, 프랑스:1.3%]

③ 우리나라의 경제에 미치는 영향

감축의무를 부담하게 되어 온실가스 배출량을 '95년 수준으로 동결해야 할 경우 우리 경제는 GDP 1.3%(15조원)~3.6%(62조원) 손실을 초래할 것이다. 한편 선진국

은 이러한 의무 부담여부와 관계없이 온실가스를 줄이지 않는 생산품에 대해서는 수입을 규제하려는 움직임이 있으며, 이 경우 자동차 등 주요 산업의 수출 경쟁력 저하가 우려되고 있다.

④ 기후변화협약이 건축전기설비분야에 미치는 영향 및 대책

- 우리나라는 OECD 가입국이자 세계 10위의 온실가스 배출국
- 건물 부문은 국가에너지의 40%까지 사용하는 분산형 거대 인프라
- 2020년 건물부문 에너지소비는 현재 대비 2배에 달할 것으로 예상
- 독일을 비롯한 주요 선진국은 기후변화협약의 초기 단계인 1990년대 초반부터 지속적인 건축물 에너지 설계기준의 강화를 추진
- 건축물의 에너지 효율화는 건축주의 자발적 참여를 기대하기 어려운 분야이며, 국가 주도의 강력한 추진이 필수적

(나) 에너지절약 정책 현황과 성능 강화 필요성

현재 정부에서는 에너지절약형 제품의 보급 확대를 위해 그림 3.58와 같이 에너지소비효율등급 표시제도, 고효율에너지기자재 인증제도, 절전형 사무가전기기 보급제도 등 3가지의 에너지효율 관리제도를 운영하고 있다.

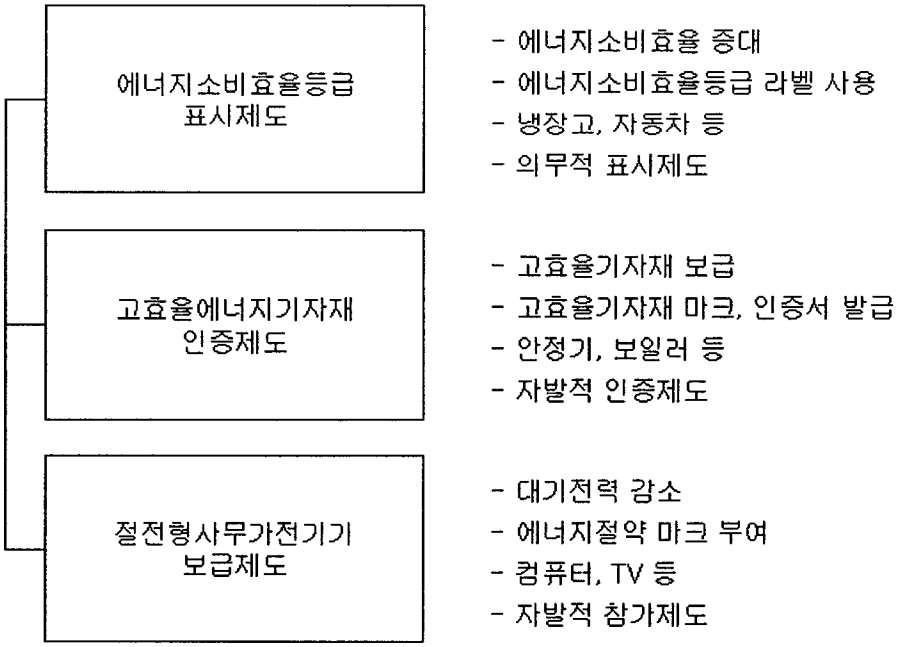


그림 3.58 에너지효율관리제도 현황

또한, 그림 3.59와 같이 에너지공급 사정의 급격한 변화로 에너지절약의 필요성은 증대되고 있을 뿐만 아니라 건축물 부문에서의 에너지소비가 전체 소비량의 25 % 정도를 차지할 정도로 매우 높게 나타고 있다. 따라서 에너지절약형 건축전기설비의 구성과 배려가 필요하며, 건축전기설비의 시설물별 또는 용도 등을 고려하여 성능 레벨을 단계로 설정할 필요가 있다.

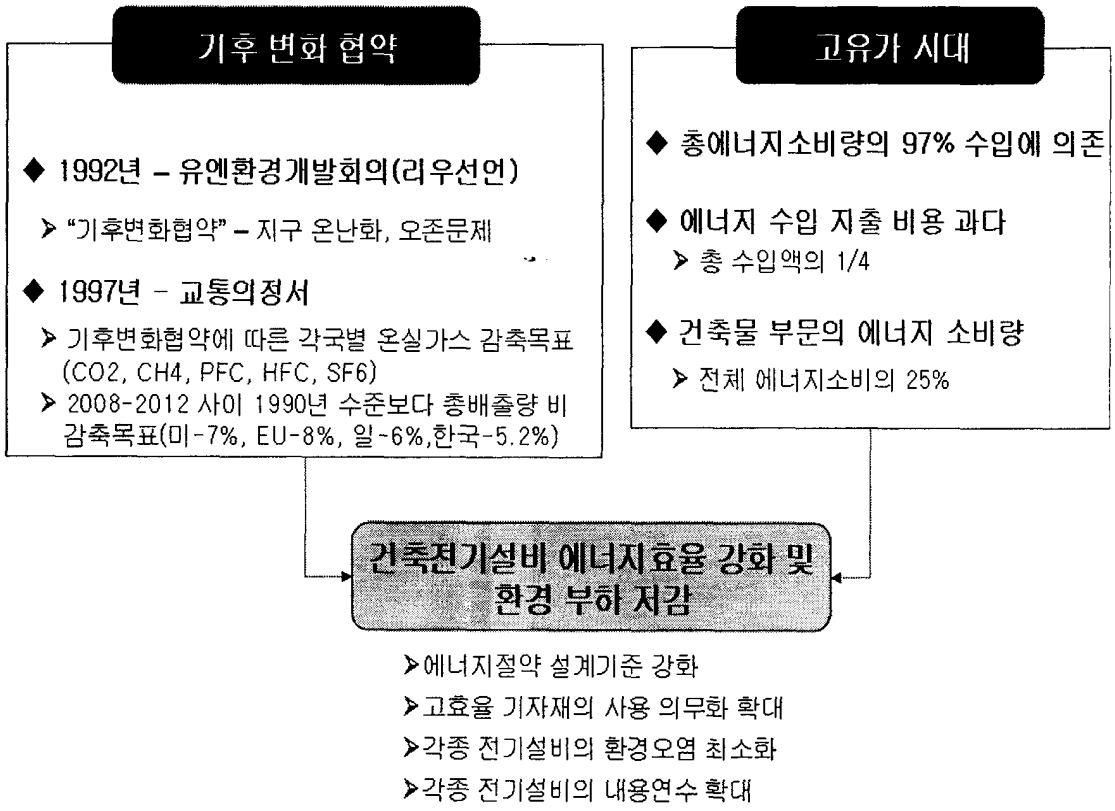


그림 3.59 건축전기설비 에너지효율 강화 개념도

(3) 친환경성 성능

(가) 친환경 전기설비의 요구기술

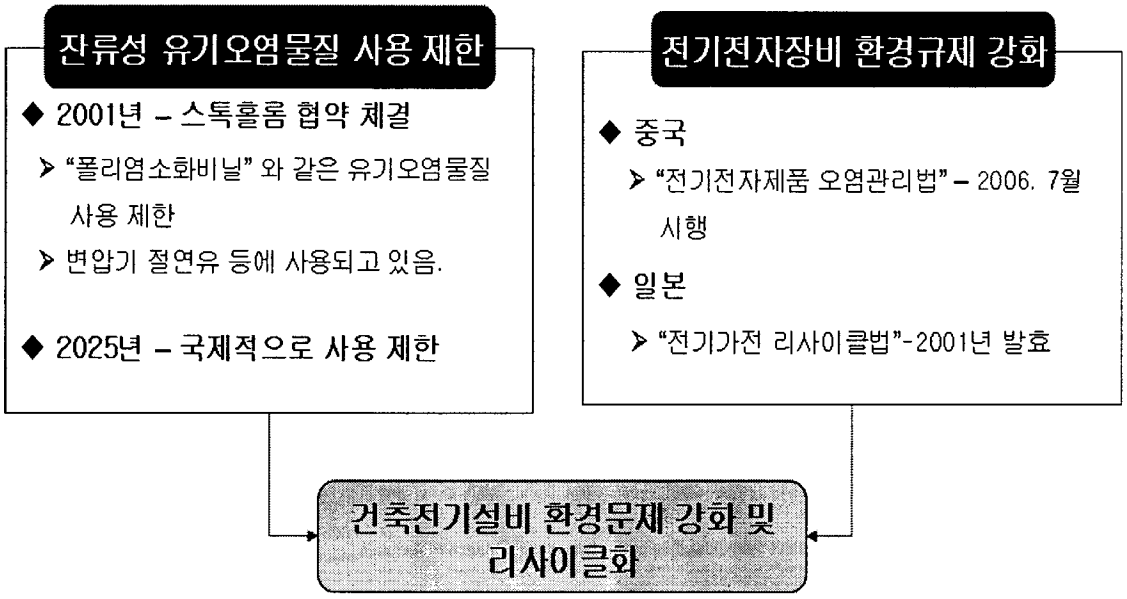
전기설비에는 전력회사로부터 공급받는 특별고압(설비용량이 10,000kVA 이하인 경우 22.9kV을 수전하기 위한 수전설비와 저압(220V, 380V)로 변환하기 위한 변전설비가 시설된다. 그리고 실의 용도에 적합한 조도와 부드러운 분위기를 연출하기 위한 조명설비와 냉방과 난방을 하기 위한 공기조화설비 등에 적용되는 동력설비가

있으며, 이와 같은 부하설비에 전기를 공급하기 위한 전력간선설비, 예비전원설비, 정보통신설비, 소방전기설비 등을 구축하고 있다.

이들 전기설비에 사용되는 여러 가지 절연물질과 잔류성 유기오염물질, 기름 누설, 소음 등 환경 문제가 새롭게 대두되고 있고, 세계 여러 나라들이 전기·전자제품 생산 및 사후 처리에 대한 환경 규제 정책을 강화해 나가고 있다.

중국은 2006년 7월부터 '유해 물질 사용제한지침(RoHS)'인 '전기전자제품 오염관리법'을, 유럽에서는 2006년 8월 31일부터 발효하고 있는 '폐전기전자제품 처리지침' 등 세계적으로 환경 규제가 강화되고 있다. 여기에서 RoHS는 중금속인 납, 카드뮴, 수은, 6가 크로뮴과 브롬계난연제(PBB-폴리브로미네이티드 비페닐, PBDE-폴리브로미네이티드 디페닐 에테르)가 함유된 전기전자제품을 말한다.

따라서 다음 그림과 같이 환경 보전을 위한 전기설비의 구성과 배려가 필요하며, 환경문제 제로 전기설비의 사용 의무화 확대 및 각종 전기기기의 환경 오염 리사이클화가 필요하다.



➢건축전기설비의 환경문제 강화
➢환경문제 제로 기기의 사용 의무화 확대
➢각종 전기기기의 환경오염 리사이클화

그림 3.60 환경 보전 성능의 필요성

(나) 친환경 전기설비의 기술개발 현황

① SF_6(육불화황) 절연물질 대체 친환경 전기기기

현재 국내에서 사용되고 있는 개폐기, 차단기 및 개폐 장치의 대부분과 일부 변압기 등은 SF_6를 절연물질로 한 가스절연 방식의 제품들이다. 특히 변전소에 설치 운영되는 GIS(가스절연 개폐 장치)는 매우 많은 양의 SF_6를 사용하고 있다.

SF_6는 일반 상태에서는 무색, 무취, 무해하지만, 화기와 접속하는 순간 유해가스로 변질해 지구온난화를 유발한다. SF_6는 교토의정서에서 규정한 6대 지구온난화 가스 가운데 지구온난화 영향력이 가장 높은 물질이다. 지구 온난화의 영향 정도를 나타내는 지구온난화 계수(GWP : Global Warming Potential)가 SF_6가스는 CO_2에 비로 23,900배로 가장 심각한 환경 오염물질로 지목받고 있다. SF_6의 배출량은 1741만 8000 CO_2Ton(2003년 말 국내 기준)으로 전체 온실가스 배출량의 3% 이지만 증가율은 14.7%로 매우 높은 것도 심각성을 더 해준다. 이로 인하여 2005년 2월 발효된 기후변화 협약 교토의정서에서도 그 사용을 규제하고 있다.

이에 대하여 GIS(Gas Insulated Switchgear : 가스절연개폐장치), C-GIS(큐비클형 가스절연개폐장치), 변압기 등 가스절연 전력기기의 경우, 국내는 물론 해외에서도 아직까지는 SF_6를 이용한 절연방식을 적용하고 있는 국가가 대부분이다.

따라서 새로운 국내외 환경 규제에 대비하여 SF_6 대체 절연물을 채용한 배전반, 차단기, 가스절연개폐장치 등을 본격적으로 개발하고 있다.

(주)효성중공업은 절연물질로 사용되던 SF_6를 질소(N_2)와 압축건조공기(Dry-Air)로 대체하는 배전급(22.9kV) 스위치기어를 개발 중에 있다. 그리고 변전소 현장용 진공회수 처리장치를 개발, 변전소 유지보수 과정에서 유출되는 SF_6를 대폭 줄일 계획이다.

(주)현대중공업도 C-VIS(큐비클형 진공절연개폐장치)를 개발 중에 있으며, 이는 C-GIS의 절연매질인 SF_6 가스 대신에 고체절연물과 진공 인터럽터(VI-Vacuum Interrupter)를 사용한 차세대 스위치기어(개폐장치)가 실용화 단계에 있다. 또한, 초고압 분야에서 고체절연 VI를 채용한 72.5kV/84kV급 친환경 차단기를 개발 중에 있다.

그리고 LS산전이 지난해 고체절연개폐장치 국책연구과제를 완료하고 상용품 개

발에 박차를 가하고 있으며, 일진전기, 선도전기, 광명전기, 인텍전기전자 등도 각각 고체절연, 압축건조공기, 질소 가스를 매질로 하는 신규 개폐장치를 개발하고 있다.

② 폴리염소화비페닐 사용 규제

전기기기 중에서 전력용변압기의 절연유로 많이 사용되는 PCBS(폴리염소화비페닐)와 같은 잔류성 유기오염물질은 인체에 축적되면 암을 일으키고 생식기에도 영향을 미치는 물질이기 때문에, 국제 사회는 PCBS로부터 인체와 환경을 보호하기 위하여 2001년 스톡홀름 협약을 체결하고 2025년까지 국제적으로 사용을 규제하기로 하였다. 이에 따라 우리나라도 2015년까지 PCBS 사용을 근절하기로 방침을 정하고 있다. PCBS는 열적 안정성과 절연성이 우수하여 과거로부터 전력용 변압기 절연유 등에 많이 사용된 물질이다. 현재는 PCBS 대신에 광유나 실리콘유 등으로 대체된 상태이다.

한국전력공사나 발전회사 등이 보유한 전력용 변압기 약 166만대 중 약 20%가 PCBS에 오염된 것으로 추정하고 있다. 이와 관련하여 환경부는 PCBS 완전 근절을 위한 정책을 마련 중이다.[68]

③ 친환경 축전지

일반적으로 사용되는 소형부터 무정전전원장치(UPS)에 사용되는 대형 축전지에 이르기 까지 황산을 내포하고 있는 전해액이 제대로 처리되고 있는지에 대한 문제점이 대두되어 왔다.

국내 세방전지(주)에서는 인체 유해물질이 함유된 전해액을 겔(Gel)화 시킨 VGS(Value regulated Gel type Stationary lead acid Battery) 축전지를 개발하였다. VGS는 황산이 없기 때문에 유해물질 누출이 원천 배재되었고, 또한 전해액이 겔화되어 있기 때문에 전지가 손상되더라도 기계장비에 손상을 입히거나 인체 위험이 거의 없는 친환경 제품이다.[69]

VGS보다 한 단계 업그레이드 된 친환경축전지 CGS(Compact Gel Stationary Battery)를 개발하였으며, VGS보다 크기를 30% 이상 축소하여 일반 건물이나 데이터 센터, 이동통신 기지 등 도심형에 적합하게 제작되는 것이 특징이다.

④ 무수은 형광램프

형광램프는 방전관 내에 수은을 봉입하여 저전압으로 방전시키기 위하여 열음극

68) 한국전기신문, '변압기 업체 PCBs 근절 '한 뜻', 2007.4.19
69) 세방전지(주), "인체 유해 축전지, 이제는 옛말이죠", 한국전기신문, 2005.5.16

을 사용한 저전압 수은램프의 일종으로 방전에 의하여 생긴 파장 253.7nm의 강력한 자외선이 관내 벽의 형광도료를 자극하여 강한 형광을 발생한다. 그러나 수은은 유해 물질로서 앞으로는 수은을 사용하지 않는 일종의 무수은 형광램프가 보급될 전망이다. 대표적인 형광램프로서 유전체 격벽방전을 응용한 평판형 형광램프를 들 수 있다. 소다석회 유리와 같은 두 유전체 층에 형광체를 입히고 바깥 한 쪽에 투명전극을, 반대편에 금속 전극을 형성하고 그 사이에 Xe 또는 Ne-Xe 혼합기체를 채우는 구조로 되어 있다. 양 전극 사이에 ~20kHz 정도의 교류를 가하면 유전체 격벽방전이 일어나 VUV를 발생시키고, 이것을 형광체를 통하여 가시광으로 변환시킨다.[70] 이 램프의 특징은 다음과 같다.

㉠ 고휘도, 고효율

㉡ 휘도 균제도가 우수함

㉢ 램프 크기에 관계없이 광출력이 안정됨

㉣ 저온에서도 잘 동작하는 등 온도의 영향이 거의 없음

㉤ 일종의 무전극 방전으로서 장수명 가능

⑤ 친환경 신재생에너지

신재생에너지로서는 태양광발전, 풍력발전, 연료전지발전 등이 보급되고 있으며, 풍력발전은 무공해 에너지원인 바람을 이용한 발전기술로 대체에너지원 중 가장 경제성이 높다고 알려져 있다. 풍력발전시스템은 다양한 형태의 풍차를 이용, 바람에너지를 기계적에너지로 변환하고, 이 기계적에너지로 발전기를 구동하여 전력을 얻어내는 시스템이며, 발생되는 전력을 전력계통이나 수요자에 직접 공급하는 것이다. 산업자원부 풍력사업단에 따르면 2006년 1월 현재 국내에 설치, 운용 중이거나 도입예정인 풍력발전시스템의 용량은 163만 1000kW이다. 그림 3.61은 (주)케이알이 개발한 초당 3m의 바람에도 발전할 수 있는 풍력발전기이다.[71]

태양광발전시스템은 태양으로부터 지상에 내리쪼이는 방사에너지를 태양전지로 직접 전기로 변환해서 출력을 얻는 발전방식이다. 최근에 아파트, 가정에도 설치되어 운용 중에 있으며, 태양전지 집합체를 건자재와 일체화하여 건물 외벽이나 유휴공간에 설치하고, 태양전지에서 발생된 전력을 건물 내부의 전원으로 사용하고 있

70) 여인선, 조명광원의 신기술 동향, 전기학회지 Vol. 47, No.8, pp.5-13, 1998

71) '국내 발전산업에도 청정바람이 분다', 한국전기신문, 2006.8.7, 신개념 풍력시스템 개발, 한국전기신문, 2006.8.3

다. 그림 3.62는 서울숲에 설치된 태양광발전시스템이다.

연료전지는 전지라기보다는 일종의 발전 장치이다. 수소와 산소의 전기화학 반응을 이용하여 전기를 만든다. 물을 전기분해하면 수소와 산소를 얻을 수 있으나 바로 거꾸로의 반응을 이용한 것이다. 그림 3.63은 일본의 NTT 빌딩에 설치된 연료전지 발전시스템이며, 현재 국내에서도 1kW급 가정용 연료전지를 개발하여 보급하고 있다.



그림 3.61 소형 풍력발전



그림 3.62 태양광발전시스템



그림 3.63 연료전지발전시스템

(다) 친환경 전기설비의 요구 성능

다음 그림은 친환경전기설비의 요구 성능에 대해 나타낸 것이며, 시설물별 또는 용도 등을 고려하여 성능 레벨을 단계로 설정할 필요가 있다.

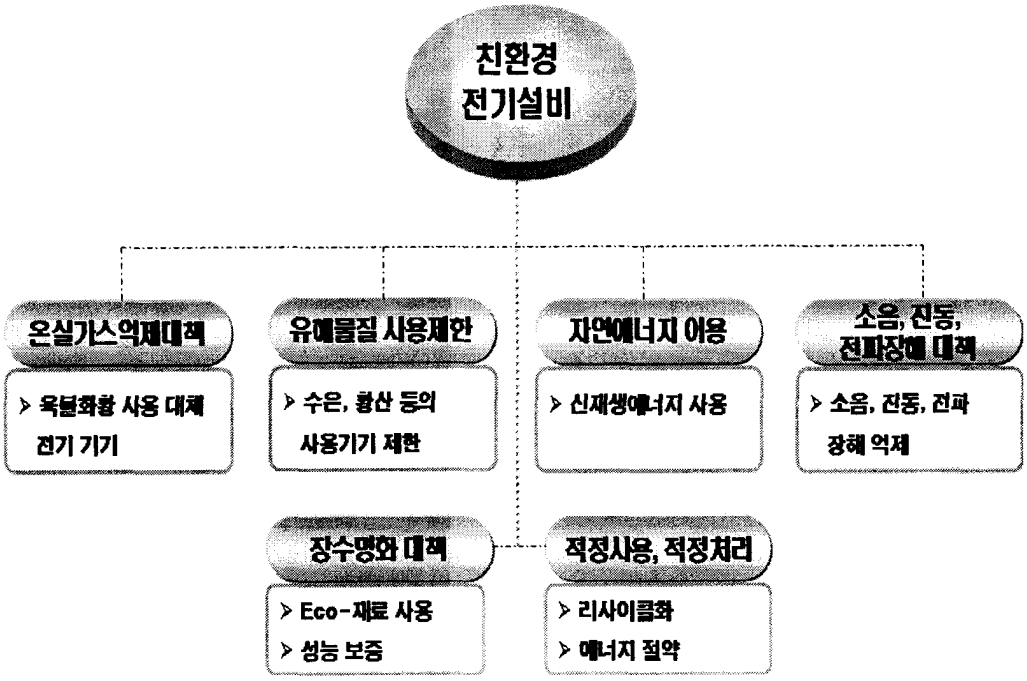


그림 3.64 친환경 전기설비의 요구 성능

(4) 내진성 성능

건축 관련 법령에서의 구조 내력에 관한 기준에 준하여 전기설비의 내진 대책이 요구되고 있다.

건축법 제5장(건축물의 구조 및 재료) 제38조(구조내력 등)에서 '건축물은 고정하중, 적재하중, 적설하중, 풍압, 지진 기타의 진동 및 충격 등에 대하여 안전한 구조를 가져야 한다'라고 규정하고 있으며, 현재 건축전기설비 분야에서는 관련 기준이 제시하고 있지 않으므로 내진 전기설비 설계기준 및 시공기준의 정립이 요청된다.

또한, 국내에서도 건축물의 초초고층화, 복합화되고 있으므로 전기설비 종류별 내진 기준 마련이 요구된다.

따라서 다음 그림과 같이 지진에 대비한 건축전기설비의 구성과 배려가 필요하며, 건축전기설비의 시설물별 또는 용도 등을 고려하여 성능 레벨을 단계로 설정할 필요가 있다.

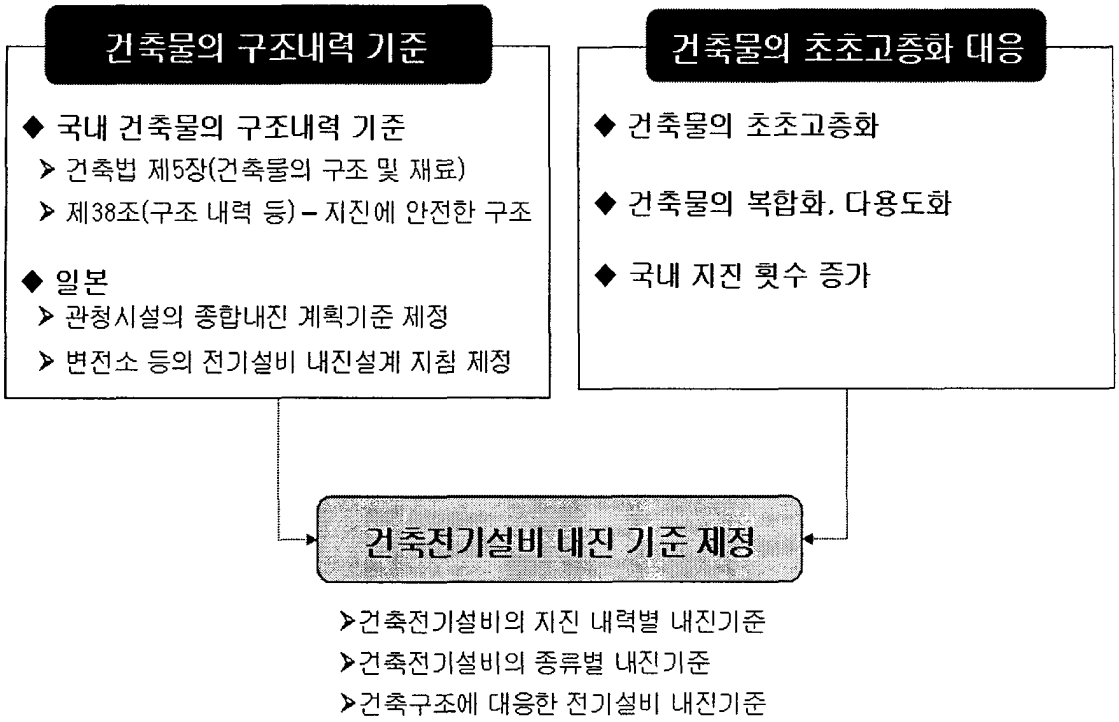


그림 3.65 내진성의 필요성

(5) 생애주기비용 성능

(가) LCC의 개념과 목적

시스템이나 기기의 제작을 위한 기획, 연구, 개발에서 시작되어 제조, 조립, 시운전, 조정을 거쳐 실용으로 이용되며, 장기 사용기간을 거쳐 최후에 폐각되기까지의 필요한 비용을 생애주기비용(Life Cycle Costing : LCC)라 말한다. 이와 같이 LCC를 분석함으로써 총 비용의 관점에서 가장 경제적인 대안을 선택하기 위한 일종의 경제성 평가기법을 의미한다.

최근 에너지비용이 증대되고 인건비도 증가하고 있으므로 이를 포함한 보전비와 시스템이나 기기 등의 초기 투자액과의 대비에 있어서 전자의 비율이 증대됨에 따라 LCC의 견지에서 시스템이나 기기의 경제성을 평가하려는 경향이 점차 확대되고 있다.

LCC의 목적은 최소의 투자 코스트로 최고의 성능을 얻는 일이다. 그러나, 전기설비 분야에서 성능을 코스트나 숫자로 환산해서 정량적으로 파악하는 것은 곤란하므로 LCC 분석에서 비교하는 대체안의 성능이 사전에 정해진 규정치 이상이면 동일 레벨로 취급하는 것이 일반적이다. 다음 표는 LCC의 개념과 목적을 나타낸 것

이다.

표 3.102 LCC의 개념과 목적

항 목	개 요
LCC의 개념	조사, 개발, 설계, 시공, 운용, 폐기 각 단계에서 생기는 총비용을 분석하고, 대체안 상호에 대해 경제 비교를 평가해야 한다.
LCC의 목적	최소의 투자 비용으로 최고의 성능(이익)을 얻어야 한다.

(나) LCC의 구성

① LCC의 주요 인자

설비 기기의 LCC는 앞에서 기술한 바와 같이 설비기기를 설치하는 것을 기획하고, 실현하기 위한 연구, 개발에서 제작 조립되어 시운전, 조정을 거쳐 설치되며, 장기간 운전 사용 후에 폐각되기까지의 모든 비용을 총칭하는 사항이다.

이러한 비용을 세분화하면 다음과 같다.

㉠ 기획, 설계비용

㉮ 기획비

㉯ 연구개발비

㉰ 설계비

㉡ 제작 설치비용

㉮ 제작, 조립비

㉯ 검사, 시험비

㉰ 품질 관리비

㉱ 수송, 반입, 보관비

㉲ 설치, 배관, 배선, 시운전비

㉢ 운전비용

㉮ 운전 관리 인건비

㉯ 에너지비

㉰ 물, 각종 소모품비

㉱ 운전 요원 훈련비

㉣ 보전비용

㉮ 보전 인건비

㉯ 교체 부품, 예비 부품비

㉰ 시험 검사비

㉱ 보전 외주비

㉲ 보전 요원 훈련비

㉤ 폐기 처분비용

㉮ 철거 공사비

㉯ 반출, 수송비

㉰ 설비와 같은 시스템의 처분 : 수익 발생

② LCC의 영향 인자

위의 사항에서 LCC에 영향이 미치는 주요 인자는 다음과 같은 사항을 들 수 있다.

㉮ 에너지 소비량

㉯ 고장률

㉰ 내용연수

㉱ 이자율

㉲ 물가 상승률

㉳ 실질 이자율

최근 고유가 정책으로 에너지비용의 크게 소요되어 설비기기의 수명에 대한 운전비 누계가 초기 투자액의 수배에 달한다고 말하고 있다. 특히 에너지 절약기기는 초기 투자액이 다소 많아도 에너지절약의 효과적인 기기가 LCC 측면에서 경제적이라고 말할 수 있다.

또, 고장은 그 내용이나 발생빈도에 의해 보전비에 미치는 영향이 크다. 고장률 내용은 설비 전체 기능에 직접 큰 영향을 미치거나, 인사사고로 이어지는 예도 있다. 부품이나 기기는 고장 수리를 위해 막대한 비용이 필요하거나 때로는 수리 불능하게 되는 예도 있으므로 고장 발생을 방지하기 위해 예방 보전을 해서 고장발생을 줄일 수 있도록 해야 한다.

내용연수의 변화는 LCC를 산출하기 위한 연등가액(年等價額)의 연수 변화를 나타내므로 내용연수가 증가하면 LCC는 낮아지게 된다. 여기에서 LCC에 영향을 미

치는 각각의 인자에 대해서 살펴본다.

㉠ 고장률과 내용연수

㉮ 고장률

고장률은 일정 시점까지 작동해온 기기, 부품과 시스템이 계속되는 단위 기간 내에 고장을 일으키는 비율을 말한다. 그래서 이와 같은 고장의 정의는 시스템이나 장치가 전혀 작동하지 않게 되는 경우나 파손, 변형되어 능력을 발휘할 수 없게 되는 경우나 또는 성능이 점차 떨어지는 예도 있어, 이 경우 허용되는 최하한의 성능 수치를 하회하면 고장으로 본다.

이와 같이 고장에는 다양한 형태나 시간적인 변화에 따라 고장 형태가 다르므로 그 형태에 따라 고장 모드, 고장 메카니즘, 초기 고장, 우발 고장, 마모 고장 및 열화 고장 등의 각종 용어가 사용되고 있다.

고장률의 정의는 JIS 용어로 규정되어 있지만, 일반적으로 순간 고장률과 평균 고장률이 사용되고 있으며, 학술적으로 순간 고장률이 실용상으로는 평균 고장률이 사용되고 있다. 많은 부품으로 이루어진 장치는 평균 고장률로 나타낼 수 있다. 이 평균 고장률은 일정 기간 중의 총고장수를 그 기간의 총작동시간에서 제외하여 산출한다.

㉯ 내용연수

내용연수와 동의어이 공학용 용어에 '수명'이 있다. 이 수명은 JIS 용어에 의하면 '기기나 시스템이 사용 개시에서 폐각에 이르기까지의 기간'으로 정의되며, 또는 고장률이 규정 수치를 하회하는 기간을 유용 수명 또는 내용 수명이라고 하며, 우발 고장 기간 전체를 유용 수명 또는 내용 수명이라고 하는 경우도 있다.

따라서 이와 같은 경우 장치나 시스템의 고장 발생 현상에 따라 다음과 같은 용어가 사용된다.(JIS 용어)

ⓐ 내용 수명 : 고장률이 증대되며 수리비가 증가되어 경제적으로 불리하게 되기까지의 기간

ⓑ 고장 간격 : 수리하면서 사용하는 기기나 시스템 고장 간의 작동 시간

ⓒ 평균고장간격(MTBF) : 고장 간격의 평균 작동 시간

ⓓ 고장 수명 : 수리하지 않은 기기나 시스템이 사용 개시 후 고장까지의 작동 시간

ⓔ 평균 고장수명 : 고장 수명의 평균 수치

내용 연수는 판단 기준에 의해 물리적 내용연수, 기능적 내용연수, 사회적 내용연수, 경제적 내용연수로 분류된다.

ⓐ 물리적 내용연수 : 건축물이나 설비가 완성된 후 장기간 사용이나 시간의 흐름에 따라 자연적 마모, 화학적 부식, 자연 재해 등에 의한 손상, 설계 및 시공 미비에 의한 노후 촉진 등 물리적 노후가 최대로 진행하여 구조물의 수명이 더 이상 수선이 불가능하여 사용할 수 없을 때까지의 경과한 기간을 말한다. 다시 말해서, 고장률에 의한 내용연수이며, 이미 설명한 바와 같이 고장이 증가되어 경제적으로 불리하게 되기까지의 기간이고 경우에 따라서는 우발 고장기간이라고 하는 예도 있다.

ⓑ 기능적 내용연수 : 사회적, 경제적 활동의 진전, 생활 양식의 변화 등에 따라 건물이나 그 장비가 이와 같은 변화에 대응하기 어렵게 되고 그 기능의 상대적 저하가 건축으로서의 편익이나 효용을 현저하게 손상시키기까지의 기간을 말한다.

ⓒ 사회적 내용연수 : 주로 건물의 협소, 설비재의 낙후 등 내부 요인에 의해 좌우된다면 사회적 내용연수는 외부 환경에 적응이 불가능하여 생기는 효용의 저하로 볼 수 있다. 예를 들면, 도로의 개설, 확장 등으로 건물의 일부 또는 전체가 철거되거나 택지 개발로 인하여 공장 등이 이전하는 경우, 재개발 사업 시행 등으로 인한 철거 등이 이에 속한다. 설비적으로는 고장률이 적고, 다음의 법정 내용연수 이내라도 기기류가 진부화되고, 새로운 기종으로 교환하는 것이 유리할 때까지의 기간을 말한다.

ⓓ 경제적 내용연수 : 건설비 및 건설 자금에 대한 상환과 수익과의 관계로 산정되는 상환연수와 감가상각적인 입장에서 산정된 연수와의 균형에서 결정된 내용연수이다. 즉, 건축물에서 얻어지는 임대료 등의 수입과 유지관리 경비, 기타경비 등을 비교 검토하여 수익이 없을 경우 경제적 내용연수에 도달한 것으로 판단할 수 있다. 또한, 고장률이 높아져서 그로 인한 보전비 지불이 대폭적으로 증가되거나 새로운 기종으로 갱신하면 성능이 향상되고 초기투자비가 충분히 보충된다고 판단되는 기간이다.

ⓔ 법정 내용연수 : 노후화와 원인에 의해 동일한 장비에 있어서도 그 수명은 다르게 되지만, 법정 내용연수는 고정 자산의 감가상각의 기본이 되는 것으로 법인세나 소득세 계산에서 자산의 감가상각액을 산출하는데 사용되는 내용연수이며, 법정 내용연수는 세금, 조세의 산출 및 금융 부문에서 이용하게 된다.

㉡ 이자율

LCC 분석에 있어서 미래에 발생되는 비용은 현재의 비용과 같지 않으며, 화폐에는 시간적 가치가 있다는 것이 원칙이다. 화폐의 시간 가치(Time value of money)란 시간이 흐름에 따라 화폐의 가치가 달라지는 것을 의미한다.

LCC 총 비용계산에서 화폐의 시간 가치가 중요한 이유는 고정 자산 투자는 현 시점에서 이루어지지만, 투자된 자산을 이용하여 그 대가로 얻는 수익은 미래에 실현되기 때문이다.

할인이란, 서로 다른 시점에서 발생하는 비용과 효용을 기준이 되는 시점으로 바꾸어 비교하기 위해 사용하는 방법이다. 경제성 분석 방법론의 대부분은 둘 또는 그 이상의 대안들을 서로 비교하기 위하여 미래의 비용과 효용을 동일 기준으로 평가할 필요가 있다. 할인은 비용이나 효용이 발생한 시점, 발생하는 형태, 할인율 등에 따라 적절한 방법으로 이루어져야 한다. 또한, 미래의 자금을 현재 가치로 환산하는 때는 할인 기간과 할인율을 정해야 하는데, 할인기간은 기대 금액의 발생기간에 따라 다르나, 투자 대상의 내용연수보다 더 장기일 수는 없고, 할인율은 일반적으로 이자율로 대체하여 사용한다.

이자율의 결정은 발주자가 투자시 기대하는 최소의 허용 이자율 또는 차입 금리로서 여러 가지 조건에 의해서 정할 수 있다.

㉢ 물가 상승률

㉮ 물가 상승률은 소비자 물가지수에 의해 측정

㉯ 물가 상승

- 상품의 수요가 공급보다 크고, 생산비(원자재 가격, 임금) 인상

- 위와 같은 현상으로 물가가 지속적으로 상승하는 현상을 인플레이션이라 한다.

㉰ 대안의 경제성 비교시 물가 상승률 고려 여부는 평가의 우선순위가 크다.

㉱ 물가 변동은 일정한 경향이 없다(불규칙하게 변동)

㉲ 미래의 비용을 평가함에 있어 물가 상승률 결정은 신중하게 결정해야 한다.

㉣ 실질 이자율

화폐의 시간적 가치를 고려하여 동일 시점의 가치로 환산하기 위해 적용하는 할인율은 이자율과 물가 상승률을 모두 고려한 실질 이자율을 적용한다. 실질 이자율은 다음의 식을 사용하여 산출할 수 있다.

$$i = \frac{(1 + i_n)}{(1 + f)} - 1, \qquad (3.1)$$

여기에서, i : 실질 이자율

i_n : 이자율(일반 대출금리)

f : 물가 상승률

(다) 대체안에 관한 각종 평가방법

대체안 경제 평가에 사용되는 대표적인 방법으로 이니셜 코스트 비교에 의한 방법 이외에 ① 회수 기간법, ② 투자 이익률법, ③ 내부 수익률법, ④ 현가법(現價法), ⑤ 연평균 코스트법 등이 있다.[72]

① 회수 기간법

사업 계획에 임해 여러 투자 계획안에 대해 경제 평가하는 경우, 그 프로젝트에서 얻을 수 있는 이익에 따라 투자 금액의 회수기간을 구해, 회수 기간 길이에 의해 경제성을 판정하는 방법이다. 회수 기간은 식 (3.2)와 같다.

$$\text{회수 기간} = \frac{\text{투자액}}{\text{연간 이익}} \qquad (3.2)$$

이 방법은 예컨대 A안과 B안 보다 초기 투자액은 I 만큼 많은데, 경상비는 매년 R만큼 적어도 충분한 경우 다음과 같이 적용된다.

$$\text{추가된 초기 투자액의 회수} = \frac{I}{R}, \qquad (3.3)$$

회수 기간법은 당초의 추가 투자액이 몇 년간에 회수 가능한지 판정하는데 효과적이지만, 다음과 같은 문제점을 안고 있다.

㉮ 투자액의 추가분에 대해서는 고려하지만, 총투자액에 대한 고려가 없다.

㉯ 추가 투자액이 회수된 후의 고려가 없다.

㉰ 시설 내용연수(耐用年數)에 대한 고려가 없다.

㉱ 잔존 가치에 대한 고려가 없다.

㉲ 금리나 인플레이션 등에 의한 가격 변동에 대한 고려가 없다.

---

72) 小林 勝 外, Personal ComputerによるLCC評價システム, 日本建築設備, 1988.7

② 투자 이익률법

투자 이익률법은 각종 계획안에 대해 투자 금액당 이익률을 산출하고, 그 크기로 계획안의 우열을 판단하는 방법이다. 투자 이익률은 다음 식과 같다.

$$\text{투자 이익률} = \frac{t\ u}{,a} \quad (3.4)$$

이 방법의 최대 문제점은 손익계산서에 의거한 이익을 산출해야 하며, 그 시간이 방대하여 간편하고 실용적인 방법이라고 할 수 없다.

③ 내부 수익률법

발생된 이익의 현재 가치가 초기 투자액과 같아지는 할인율을 내부 수익률이라고 하면 내부 수익률 크기로 대체안의 우열을 판단한다.

내부 수익률은 다음 식과 같다.

$$Y_{o} = \sum \left(\frac{C_{m}}{(1+d)^{m}}\right), \quad (3.5)$$

여기서, d. : 내부 수익률

C_{m} : m년에 대한 이익

내부 수익률도 이익을 산출해야 하며, 그로 인한 결점은 투자 이익률법과 같다.

④ 현가법

물가 상승률, 인건비 상승률, 에너지비용 상승률 등 여러 상승률이나 금리를 고려해서 전체 건물 사용 기간 중에 발생되는 총비용 "생애 코스트"를 현재 가치로 환산하고, 이 수치의 대소에서 대체안에 대해 경제성을 비교 판단하는 사항이다. 이 방법은 금리나 가격 상승률 비용에 영향을 미치는 시간적인 요소가 고려되어 있으므로 LCC나 사업 계획 평가에 널리 사용되고 있다.

현가법은 모든 대체안에 대해 사용연수를 동일하게 한 다음 비교 평가해야 한다. 사용연수가 1년 차이이면 비교 평가는 할 수 없다.

사용연수가 다른 부재의 집적물인 건물을 비교 평가하는 경우, 사용연수를 합산하기 위해 부재 갱신 또는 수선에 의하거나, 경우에 따라 여러 가지 연구가 필요하다.

현가(現價)는 다음 식과 같다.

$$Y = Y_0 + \sum \frac{Y_m}{(1+i)^m} + \frac{Y_E}{(1+i)^n} + \sum \left(a \times b \times \frac{Y_q}{(1+i)^q}\right), \quad (3.6)$$

여기에서, Y : 현가(원)

Y_0 : 취득비(원)

Y_m : m 년에 대한 비용

Y_q : q년에 대한 법정 상각비

Y_E : 잔가(원)

a : 상각 후 이익에 대한 세율

b : 상각 전 이익/법정 상각비, 단 $0 \leq b \leq 1$

i : 금리

n : 사용연수(년)

위 식에서 제4항은 상각비를 평가하는 식이다. 상각비의 LCC 평가에는 해당 기업의 이익 정도가 영향을 미치며, 또한 법인의 경우 과거 누적 적자에 대한 구제 조치에 의해 단년도 단위는 생각할 수 없는 면이 있어 번잡하다. 그런데, 실제 주식을 배당하고 있는 기업은 b=1 이며, 상각 전 이익의 계산은 필요 없다. 따라서 대부분의 경우는 b=1 이라고 여기고 현가 Y를 구하면 된다. 다만, 신규 사업의 경우, 단년도 결산이 적자 기간 이전과 비교해서 길어지는 경향이 있으므로 유의해야 한다.

⑤ 연평균 코스트법

물가 상승률, 인건비 상승률, 에너지비용 상승률 등 각종 상승률이나 금리를 고려한 다음 전체 건물 사용 기간 중에 발생되는 총비용 "생애 코스트"를 연평균 코스트로 환산한 사항이다.

연평균 코스트는 다음 식과 같다.

$$YY = \frac{Y \times i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}, \quad (3.7)$$

여기에서, YY : 연평균 코스트(원/년)

연평균 코스트법에서도 대체안 개개의 사용연수는 동일한 다음 비교하는 것이 원칙이다. 그러나 내용연수에 별로 차이가 없는 사항, 예컨대 사용연수가 20년 전후

건물에서 내용연수가 18년 정도인 것과 20년 정도인 것을 사용한 시스템을 비교하는 경우, 사용연수를 18년과 20년 그대로 연평균 코스트를 구해도 어느 쪽이 유리한지 대체로 판정할 수 있다. 이 점이 현가법 비교의 특성이라고 할 수 있다.

(라) 생애주기비용 성능의 적용 필요성

최근 창의성, 예술성, 환경친화성 등을 평가하는 '기술제안서 평가제도'가 새로 도입되면서 공사비뿐만 아니라 사후 유지비용 등 시설물의 총생애주기비용을 평가하는 가격 평가방식이 마련 중에 있다. 따라서 공기 단축과 성능보장형 발주 방식 등의 도입이 검토되고 있는 가운데 생애주기비용의 도입은 절대적으로 필요하다.

다음 표는 생애주기비용의 평가 방법의 특징을 나타낸 것이며, 건축물에 시설되는 전기설비에서 요구되는 핵심 성능은 신뢰성 성능, 에너지절약성 성능, 친환경성 성능, 내진성 성능 등이 있으며, 이를 토대로 생애주기비용을 분석하는 기법을 도출하여 설계에 적용하는 방법론을 개발한다.

표 3.103 평가 방법의 특징 비교

번호	평가 방법	초기 투자액	경상비	잔존 가치	시간적 가치	내용 연수	사용 연수	계산	비고
1	초기 투자법	○	×	×	×	×	×	용이	
2	회수 기간법	○	○	○	×	×	×	용이	자금 회수후의 고려가 없다.
3	내부이익률법	○	○	○	○	×	×	어려움	이익 계산에 시간이 걸린다.
4	투자이익률법	○	○	○	○	×	×	어려움	
5	현가법	○	○	○	○	○	○	중간	시간적 가치를 고려한 회수기간법으로 활용할 수 있다.
6	연평균 코스트	○	○	○	○	○	○	중간	

2. 건축전기설비분야 성능기준 개발 대상 및 범위

가. 관련 기준의 검토

그림 3.66은 건축전기설비분야의 전기 관련 법령 및 기준의 체계도를 나타낸 것이고, 전기 관계 법령 및 국가 기준에서 정하고 있는 건축전기설비 설계기준은 2005년도에 개정되어 현재에 이르고 있고, 건축전기설비 표준시방서는 2003년도에 개정되어 현재에 이르고 있다. 이들 국가 기준은 발주자 및 설계용역업자 등 관련 기술자의 활용에 편의를 도모하고 건설 분쟁 등의 요인을 사전에 예방하도록 하기 위한 것이다.

나. 설계기준 및 시공기준의 성능 중심 개발 대상 및 범위

건축전기설비설계기준은 건축물의 전기설비와 관련한 공사를 시행하는 데 있어서 건축전기설비 부문에 대한 계획 및 설계 단계에서 개념 정립, 규격, 품질 향상 등 설계에 대한 최소한의 기준을 제시하여 건축전기설비 설계의 효율성을 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

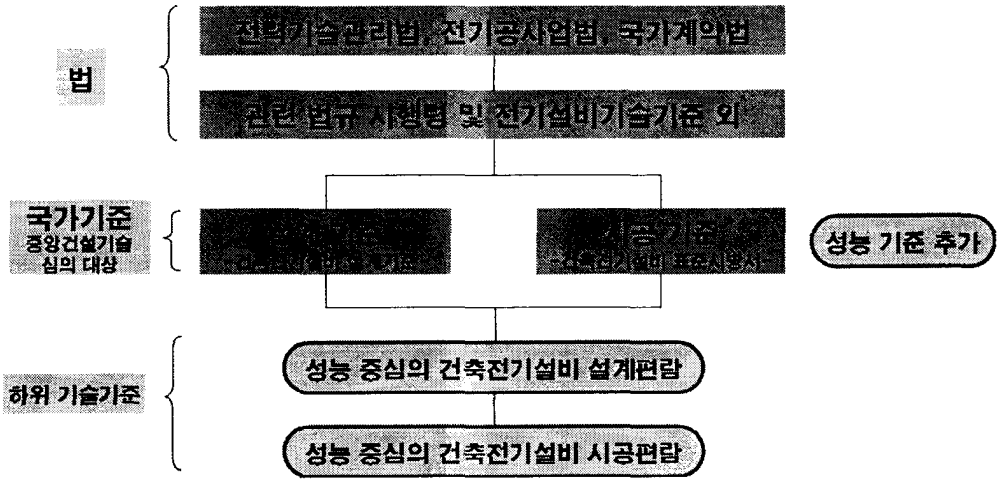


그림 3.66 관련 법령 및 기준의 체계

건축전기설비설계기준에서는 전기설비 관련 실 구성에 대한 기준, 수변전설비, 예비전원설비, 조명설비, 동력설비, 전력간선설비, 반송설비, 정보통신 및 약전설비,

전기방재설비 등에 대하여 범위를 정하고 있다.

그러나 최근 창의성, 예술성, 환경친화성 등을 평가하는 '기술제안서 평가제도'가 새로 도입되면서 공사비 뿐만 아니라 사후 유지비용 등 시설물의 총생애주기비용을 평가하는 가격 평가방식이 마련 중에 있다. 따라서 공기 단축과 성능보장형 발주방식 등의 도입이 검토되고 있는 가운데 전기설비의 신뢰성 성능, 에너지절약 성능, 친환경 성능, 내진성 성능 및 생애주기비용 성능에 관한 개정이 필요하다.

또한, 건축전기설비공사 표준시방서는 시설물의 안전 및 공사 시행의 적정성과 품질 확보 등을 위하여 시설별로 정한 표준적인 시공기준으로서 발주청 또는 설계 등 용역업자가 공사시방서를 작성하는 경우에 활용하기 위한 시공기준을 말한다.(건설기술관리법 시행규칙 제14조의 2 제1항)

건축전기설비공사 표준시방서에서는 구내전선로공사, 옥내배선공사, 조명설비공사, 동력설비공사, 수변전설비공사, 예비전원설비공사, 종합감시제어설비공사, 정보통신 및 약전설비공사, 전기방재설비공사, 전기방식설비공사 등에 대하여 범위를 정하고 있으며, 성능 중심으로의 기준 개정이 필요하다.

3. 건축전기설비분야 성능기준 개발을 위한 접근 방법 및 개발 방법

가. 접근 방법

(1) 건축전기설비의 시설물별 핵심 성능 선정

건축전기설비에는 수변전설비, 예비전원설비, 조명설비, 동력설비, 전력간선설비, 반송설비, 정보통신 및 약전설비, 전기방재설비, 전기설비 관련 실 등이 있으며, 각 시설물별로 요구되는 핵심 성능을 선정한다. 다음 표는 수변전설비를 예를 들어 항목별로 관계되는 핵심 성능을 선정하여 나타낸 것이다.

표 3.104 수변전설비의 검토항목별 핵심 성능

시설별	항목	핵심 성능				
		신뢰성	에너지절약성	친환경성	내진성	생애주기비용
수변전설비	수전전압	●				●
	수전방식	●	●	●		●
	모선방식	●	●	●	●	●
수변전기기	전력용 변압기	●	●	●	●	●
	수배전반	●	●	●	●	●

(2) 신뢰성 성능을 대상으로 평가항목 및 성능레벨 선정

다음 표에서 보는 바와 같이 건축전기설비의 핵심 성능 5가지 중에서 신뢰성 성능을 대상으로 평가항목을 나열하고 성능 등급을 나타내고자 한다.

다음 표는 수전설비 중에서 수전방식과 모선방식에 대한 신뢰성 성능에 대한 평가 항목 및 성능 레벨을 예를 들어 나타낸 것이다. 신뢰성 성능에 대한 개념을 제시하고, 시설물별 평가 항목과 성능 레벨을 설정한다. 여기에서, 성능 레벨은 전기 관련 규정 등에서 기술하고 있는 자료를 토대로 설정하도록 한다.

표 3.105 전기설비의 시설물별 신뢰성 성능 평가 항목

신뢰성 개념	❖정전없는 전력공급계통의 구성 ❖전력공급계통의 Layout이 크게 영향

시설별	항 목		성능 레벨			
			1	2	3	4
	- 인입 수전부터 간선공급계통까지 이중화 - 각 단위별로 절환 가능		●			
수전설비	수전방식	1회선 전용 수전			●	
		동계통 상용, 예비선 수전				●
		다른 계통 상용, 예비선 수전			●	
		스포트 네트워크 수전	●			
		루프 수전		●		
	모선방식	단일 모선(모선연락용 차단기 없음)				●
		단일 모선(모선연락용 차단기 있음)			●	
		이중 모선	●			

그리고 다음 표는 변전설비 및 간선설비 중에서 변전방식과 간선공급방식에 대한 신뢰성 성능에 대한 평가 항목 및 성능 레벨을 나타낸 것이며, 평가 항목별로 성능 레벨을 설정한 것이다. 여기에서, 성능 레벨은 전기 관련 규정 등에서 기술하고 있는 자료를 토대로 설정하도록 한다.

표 3.106 변전설비와 간선설비의 시설물별 신뢰성 성능 평가 항목

시설별	항 목		성 능 레 벨			
			1	2	3	4
변전설비 및 간선	변전방식	전체 부하에 대해 예비용 변압기 1대 구비				●
		중요 부하에 대해서만 예비용 변압기 구성		●		
		뱅크마다 모선연락용차단기 구축			●	
		뱅크마다 자가발전설비 구축	●			
	간선공급방식	EPS의 이중화 공급방식	●			
		이중배전방식 			●	
		루프배전방식 		●		

다음 표는 비상전원설비 중에서 발전설비 및 무정전전원장치(UPS)에 대한 신뢰성 성능에 대한 평가 항목 및 성능 레벨을 나타낸 것이며, 평가 항목별로 성능 레벨을 설정한 것이다. 여기에서, 성능 레벨은 전기 관련 규정 등에서 기술하고 있는 자료를 토대로 설정하도록 한다.

표 3.107 비상전원설비의 시설물별 신뢰성 성능 평가 항목

시설별	항 목		성 능 레 벨			
			1	2	3	4
비상전원설비	발전설비 및 UPS	상용계통의 정전대책으로서 비상시 부하만 감안				●
		상용계통의 정전대책으로서 중요 부하 및 비상시 부하만 감안			●	
		상용계통의 정전대책으로서 전체 부하를 감안	●			
		상용계통의 정전 및 순시저하 대책으로서 UPS 설치(중요 부하 및 비상시 부하)			●	

나. 개발 방법

건축물에 시설되는 전기설비에서 요구되는 핵심 성능은 신뢰성 성능, 에너지절약성 성능, 친환경성 성능, 내진성 성능 등이 있으며, 이를 토대로 생애주기비용을 분석하는 기법을 도출하여 설계에 적용하는 방법론을 개발한다.

그림 3.67은 전력용 변압기의 생애주기를 20년으로 하였을 때의 핵심 성능별 성능 등급을 토대로 평가를 하였으며, 또한, 생애주기비용을 분석하여 LCC의 상대지수를 비교 평가하였다. 이를 기준으로 A형의 전력용 변압기가 가장 적합한 전력용 변압기로 선정할 수 있다.[73]

따라서 건축전기설비설계기준 및 건축전기설비표준시방서에서 정하고 있는 수변전설비, 예비전원설비, 조명설비, 동력설비, 전력간선설비, 반송설비, 정보통신 및 약전설비, 전기방재설비, 전기설비 관련 실 등에 대하여 중요 해당 시설물을 대상으로 신뢰성 성능, 에너지절약성 성능, 친환경성 성능, 내진성 성능 등의 핵심성능을 도출하고, 이를 토대로 생애주기비용을 분석하는 기법을 도출하여 설계에 적용하는 방법론을 개발하고자 한다.

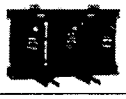
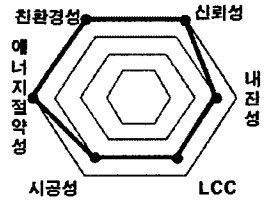
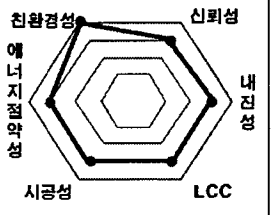
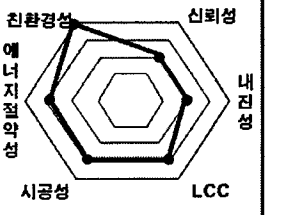
구 분	A 형	B 형	C 형
이미지			
특징	• 자구미세화강판 철심 사용 • 고효율, 저소음, 고조파 내량 우수 •부하율 50% 이상에서 손실이 아몰퍼스형 보다 유리	• 고조파 분석 및 예측을 통한 고조파 내량에 적합	• 아몰퍼스 철심을 사용 • 무부하 손실을 기존 규소강판 대비 75% 이상 절감
핵심 성능			
	LCC 1.00	LCC 1.05	LCC 1.10

그림 3.67 전력용 변압기의 핵심성능 평가 및 생애주기비용 평가 사례

73) 왕희두, 초고층건축물의 전력시스템, 2007년도 대한전기학회 하계학술대회, 7/18, 2007

4. 건축전기설비분야 성능기준 작성 지침

가. 성능기준 작성시 고려 사항

(1) 기본 사항

① 개념 및 용어의 정립

예) 성능, 성능기준, 품질보증기준 등의 정의

② 기준은 적용시 혼란이 없도록 단순하고 명료하게 작성한다.

③ 기준은 적용시 분쟁의 여지가 없도록 객관적이고 명확하게 작성한다.

④ 기존의 기준 체계와 상충되지 않도록 고려한다.

예) 단계별 적용 또는 발주자가 선택적으로 적용 가능한 적용 방안 검토

⑤ 품질보증 기준과 기존의 보증 기준이 상충하지 않도록 작성한다.

⑥ 국내의 관련 기술기준, 기술 수준, 한국산업규격의 기준, 현장 여건을 고려하여 작성한다.

⑦ 현재 연구에서 개발되는 기준체계(제도)에 포함되지 않는 사항(성능 인자)에 대한 향후 추가 및 개선, 개정을 검토하여 작성한다.

⑧ 건축전기설비 설계기준 및 건축전기설비공사 표준시방서의 내용을 기본으로 하여 작성한다.

(2) 건축전기설비의 특성을 고려한 성능 세부 항목의 설정시 고려 사항

① 건축전기설비의 대상 설비로는 수변전설비, 예비전원설비, 조명설비, 동력설비, 전력간선설비, 반송설비, 정보통신 및 약전설비, 전기방재설비 등이며, 시설물별 핵심 성능은 '신뢰성, 에너지절약성, 친환경성, 내진성, 생애주기비용' 성능 등으로 하고, 핵심 성능에 대한 개념을 정립한다.

핵심 성능의 개념 정의						
시설별 분류	성능방식	세 부 항 목	성 능 레 벨			
			1	2	3	4
수변전설비, 예비전원설비, 조명설비, 동력설비, 전력간선설비, 반송설비, 정보통신 및 약전설비, 전기방재설비 등	핵심성능을 도출할 수 있는 기술					

② 시설별 분류는 수변전설비, 예비전원설비, 조명설비, 동력설비, 전력간선설비, 반송설비, 정보통신 및 약전설비, 전기방재설비 등이며, 최근 초초고층빌딩의 건설 확대 및 유비쿼터스 관련 기술 등의 새로운 시설물이 건축물에 설치되는 경우에는 추가로 검토한다.

③ 성능 방식은 핵심성능을 도출할 수 있는 기술을 도출하여 작성한다.

④ 성능 방식에 대한 세부 항목은 가능한 4개 이상을 도출하여 작성하고, 전기 관련 법령 등에서 규정하고 있는 사항을 최소 레벨로 설정한다. 그리고 이미 국내에서 적용되고 있는 주택성능등급표시제도, 건물에너지효율등급인증제도, 초고속정보통신건물인증제도, 지능형건물인증제도 등의 기술 수준과 외국의 관련 분야 기술 수준 등을 고려하여 정량적으로 구분 가능하고, 객관적이며 명확하게 성능을 평가할 수 기술 항목을 선정할 필요가 있다. 그리고, 성능 항목별로 관련 규정에서 적정 평가시험방법을 제시하고 있는 시설물의 경우에는 관련 규정을 준용한다.

⑤ 성능 레벨은 4단계로 하며, 전기 관련 법령 등에서 규정하고 있는 사항을 최소 등급으로 하여 설정한다. 성능레벨의 경계, 즉 한계 상태를 공학적 값을 이용해서 검정 가능하도록 할 필요가 있지만, 선택은 다양하며 선택 기준에 대한 방침이 확립되어 있지 않기 때문에 시설별 특성을 고려한 연구가 필요하다.

나. 건축전기설비설계기준의 개정

(1) 목적

건축전기설비설계기준은 건축물의 전기설비와 관련한 공사를 시행하는 데 있어서 건축전기설비 부문에 대한 계획 및 설계 단계에서 개념 정립, 규격, 품질 향상 등 설계에 대한 최소한의 기준을 제시하여 건축전기설비 설계의 효율성을 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

최근 공기 단축과 성능보장형 발주 방식 등의 도입이 검토되고 있는 가운데 전기설비의 공사비뿐만 아니라 사후 유지비용 등 시설물의 총생애주기비용을 평가하는 가격 평가방식의 도입이 검토되고 있으나 현재 설계기준에 대한 적절한 성능 중심의 기준과 지침서의 제시가 되어 있지 않다.

(2) 추진 방향

국내외에서 적용하고 있는 성능 중심의 설계기준의 수집 및 총생애주기비용 평가 방법을 도입하여 설계기준에 적용 가능하고, 설계 품질을 향상시킬 수 있는 신뢰성 성능, 에너지절약 성능, 친환경 성능, 내진성 성능 등에 관한 추가 반영이 필요하다.

다. 건축전기설비공사 표준시방서의 개정

(1) 목적

건축전기설비공사 표준시방서는 시설물의 안전 및 공사 시행의 적정성과 품질 확보 등을 위하여 시설별로 정한 표준적인 시공기준으로서 발주청 또는 설계 등 용역업자가 공사시방서를 작성하는 경우에 활용하기 위한 시공기준을 말한다. 그러나 최근 전기설비 기능의 중요성을 고려할 때 성능 중심의 적정한 시공기준이 반영되어 있지 못하고 있다.

(2) 추진 방향

건축전기설비공사 표준시방서에서는 구내전선로공사, 옥내배선공사, 조명설비공

사, 동력설비공사, 수변전설비공사, 예비전원설비공사, 종합감시제어설비공사, 정보통신 및 약전설비공사, 전기방재설비공사, 전기방식설비공사 등에 대하여 범위를 정하고 있으며, 각 시공 공종별 기술 내용 조사를 통하여 현재의 기술 수준과 요구사항 조사 후 건축전기설비의 성능 중심의 시공기준을 반영한다.

제 9 절 콘크리트구조물분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발

콘크리트구조물분야의 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발 관련 연구는 "성능중심의 건설기준 표준화 - 도로포장 및 콘크리트구조물 중심 -" 연구단 과제의 1차년도 연구에서 수행되었으므로, 본 과제의 연구범위에는 포함되지 않는다. 그러나 본 보고서는 국내 건설공사 전반에 걸친 시설물별 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발 연구보고서이므로, 본 연구보고서에 "콘크리트구조물 분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발" 목차를 두고, 그 내용은 상기 연구단 과제의 1차년도 중간보고서의 항목을 인용하고자 한다. "콘크리트구조물 분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발" 관련 내용은 "성능중심의 건설기준 표준화 - 도로포장 및 콘크리트구조물 중심 -" (연구단) 제1차년도 중간보고서 제3세부과제 "성능중심 콘크리트 구조설계기준 개발"의 3-1항 "성능중심의 콘크리트 구조설계기준 작성지침 개발"에서 제시되어 있다.

제 10 절 강구조물분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발

강구조물분야의 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발 관련 연구는 “성능중심의 건설기준 표준화 - 도로포장 및 콘크리트구조물 중심 -” 연구단 과제의 1차년도 연구에서 수행되었으므로, 본 과제의 연구범위에는 포함되지 않는다. 그러나 본 보고서는 국내 건설공사 전반에 걸친 시설물별 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발 연구보고서이므로, 본 연구보고서에 “강구조물분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발” 목차를 두고, 그 내용은 상기 연구단 과제의 1차년도 중간보고서의 항목을 인용하고자 한다. “강구조물 분야 성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발” 관련 내용은 “성능중심의 건설기준 표준화 - 도로포장 및 콘크리트구조물 중심 -” (연구단) 제1차년도 중간보고서 [1-3] 세부협동과제 “강구조물분야 성능중심의 건설공사기준 정비 및 표준화”의 제3장 제8절 “강구조물 성능기준 기초 작성지침”에서 제시되어 있다.

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발 목표 달성도

본 연구는 도로포장, 건축물, 구조물기초, 도로부대시설, 터널, 조경, 건축기계설비, 건축전기설비, 8개 시설물 분야에 대해 분야별로 성능중심의 건설기술기준을 작성하기 위한 지침을 개발하기 위한 연구이다. 도로포장 분야의 경우, 성능기준을 작성하기 전에 성능기준에 포함될 성능항목 및 범위, 운영방안 등 성능기준 작성지침을 제시함으로써, 이 지침에 따라서 성능기준을 효과적으로 개발하는 것이 목적이다. 기타분야(건축물, 구조물기초, 도로부대시설, 터널, 조경, 건축기계설비, 건축전기설비 분야)의 경우, 시설물별 성능기준의 개념 및 특성, 개발대상 및 범위, 접근 및 개발방법 등을 포함한 성능기준 작성지침을 제시함으로써, 향후 시설물별로 효과적으로 성능기준을 개발할 수 있도록 하는 것이 목적이다.

본 연구에서는 8개 시설물별로 국내외 성능기준 현황 및 개발 동향을 조사, 분석함으로써 시설물별로 성능기준의 개념 및 특성을 정립하였고, 시설물별 성능기준 개발 대상 및 범위를 설정하였다. 그리고 시설물별 성능기준을 개발 및 접근 방법을 제시하는 등 시설물별 성능중심의 건설기술기준 작성지침을 제시하여 향후 시설물별 성능중심의 건설기술기준 개발시 지침으로 활용할 수 있도록 하였다. 이로써 본 연구의 소기의 목적을 충분히 달성한 것으로 판단된다.

제 2 절 관련 분야에의 기여도

현재 성능기준 개발을 위한 연구는 국제적 연구개발 추세에 발맞추어 공종별로 수행되고 있으나, 아직까지 국내에서는 체계적으로 수행되지는 않았다. 본 연구에서는 8개 시설물별로 해외 성능기준 현황 및 개발 동향을 조사, 분석함으로써 시설물별로 성능기준의 개념 및 특성을 정립하였고, 시설물별 성능기준 개발 대상 및 범위를 설정하였으며, 시설물별 성능기준을 개발 및 접근 방법을 제시하는 등을 제시하는 등 시설물별 성능중심의 건설기술기준 개발 위한 작성지침을 개발함으로써 향

후 시설물별 성능중심의 건설기술기준을 개발하는 데에 기초지식을 제공하고, 편의를 제공하는 등 큰 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

그리고 이를 통해 향후 시설물별 성능중심의 건설기술기준을 개발함으로써 시설물의 성능향상을 도모하고, 설계 및 시공자의 기술개발을 유도하며, 시설물의 유지관리 비용을 포함한 생애주기비용(LCC)을 절감시키는 데에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구의 결과로 정립 및 설정된 시설물별로 성능기준의 개념 및 특성, 시설물별 성능기준 개발 대상 및 범위, 시설물별 성능기준을 개발 및 접근 방법 등 시설물별 성능중심의 건설기술기준 작성지침은 현재 수행되고 있는 "성능중심의 건설기준 표준화 - 도로포장 및 콘크리트구조물 중심 -" 연구단 과제에서 도로포장분야의 성능기준을 개발하기 위한 작성지침으로 활용될 예정이다. 또한 기타 시설물에 대해서는 상기 연구단 과제에서 수행될 시설물별 성능 및 표준화 설계, 시공 지침(안)/편람 작성을 위한 연구에 참고자료로 활용될 예정이며, 장기적으로 시설물별 성능중심의 건설기술기준 작성시 지침으로 활용될 예정이다.

제 6 장 참고문헌

(가) 도로포장분야

- http://rdguide.kict.re.kr/ ; 도로시설 및 설계기준 개선방안 연구 홈페이지
- 건설교통부, 한국건설기술연구원, 도로시설 및 설계기준 개선방안 연구 보고서, 2002.12
- 건설교통부, 한국건설기술연구원, 도로배수시설 설계 및 유지관리 지침 연구 보고서, 2002.12
- 한국건설기술연구원, 권수안 외, 유럽출장복명서, 2007
- 한국건설기술연구원, 『도로포장관리시스템 조사보고서』, 건설교통부, 2004
- 김광우외 3인, 「아스팔트 포장 다짐밀도의 통계적 품질관리 규정 개발」, 대한토목학회논문집, 제15권, 제1호, 1995.1
- 공공 공사에 있어서의 종합평가방식 활용 검토 위원회, 공공공사에서의 종합평가방식 활용 가이드라인, 2005년 9월
- 국토교통성, 도로구조령, 2003년 7월 24일 개정
- 국토교통성, 포장의 구조에 관한 기술 기준, 2001년 6월 29일
- 사단법인 일본도로협회, 포장성능평가법, 2006년 6월
- FHWA International Technology Exchange Program 『Asphalt Pavement Warranties Technology and Practice in Europe』, FHWA, 2003
- Implementation, 『Warranty use in the United States』, http://www.ic.usu.edu/ic_over/warranty/imp_us.php?heading=11
- Ohio DoT, 『Implementation of warranted items in state of ohio highway construction projects』, http://www.dot.state.oh.us/construction/OCA/Warranty/WarrantyDocs/Legislature1099.htm, Ohio DoT, 1999
- Ohio DoT, 『Implementation and analysis report』, http://www.dot.state.oh.us/construction/OCA/Warranty/WarrantyDocs/Legislature1200.pdf, Ohio DoT, 2000

- Wisconsin DoT, 『Asphaltic pavement warranties』, http://www.dot.wisconsin.gov/library/research/docs/finalreports/tau-finalreports/warranties.pdf, Wisconsin DoT, 2001

(나) 건축물분야

- 國土交通省住宅局建築指導課等編集: 建築物の構造關係技術基準解說書(2001年版)
- 國土交通省住宅局建築指導課等編集: 限界耐力計算法の計算例とその解說(2001年版)
- Edgar V. Leyendecker, R. Joe Hunt, Atrhur D. Frankel and Kenneth S. Rukstales: Development of Maximum Considered Earthquake Ground Motions Maps, Earthquake Spectra, Vol.16, No.1, Feb.2000, pp.21-40
- Robert E. Bachman and David R. Bonneville: The Seismic Provisions of the 1997 Uniform Building Code, Earthquake Spectra, Vol.16, No.1, Feb.2000, pp.85-100
- William T. Holmes: The 1997 NEHRP Recommended Pro Visions Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Earthquake Spectra, Vol.16, No.1, Feb.2000, pp.101-114
- Farzad Naeim: The Seismic Design Handbook (Second Edition), Kluwer Academic Publishers 2001
- 대한건축학회: 건축구조설계기준 (2005)
- 日本コンクリート工學協會:コンクリート工學, Vol.44, No.8, Aug.2006, pp.16-22
- Wright J. R.: The Performance Approach. History and Status: Performance Concept in Bu ildings, Joint RILEM-ASTM-CIB Symposium Proceedings Vol.2. NBS Special Publication 361, Sept.1972
- Legget R. F.: Testing Building Constructions and The Performance Concept with Special Referents to the Work of ASTM Committee E6 on "Performance of Building Constructions" DBR Paper No.701 of the Division of Building Research, National Research Council of Canada, Oct.1976
- 田村恭: Building Element の評価{建築雜誌. Vol. 72, No. 845). 1957
- 內田洋哉ほか: Building Element の評価について日本建築學會關東支部學術研究發

表會, 1959.6
- 白山和久ほか:材料設計に關する研究(第1報) (序論)日本 建築學會第29回關東支部學術研究發表會. 1961
- プレハプ建築協會:プレハプ建築の部位別性能標準につい て: 1966.3
- CIB-W31 : A Masterlist of Properties for Building Mate-rials and Products : CIB Report No.3. 1964
- Blachere G: List of Human Requirements : BUILD International, Nov./Det.1971
- 特集"E建築の性能(建築雑誌. Vol. 8l No. 973). 1966. 10
- カ"[テンウ才"[ルの性能基準調査委員會カ"[テンウ才一ル の性能標準:日本カ"[テンウ才"[ル工業會, 1967
- 白山和久: 建築の性能とコンクリ"[ト(コンクリ"[ト工學Vol.15 No.l0). 1977 .10
- 工場生産化住宅認定基準原案作成望委員會: 工場生産住宅認定護基準第一次案 建設省建築研究所. 1972.11
- CIB: The Performance Concept and its Terminology(CIB Report No.32) .1975
- 日本建築學會材料施工委員會第1分科會: JASS 5 鐵筋コン クリ"[ト工事標準仕様書改訂の主旨(建築工事標準仕嫌書"E 同解說5) 1975.1
- 主集"E住宅と性能(建築雑誌. Vol.95 No.l163). 1980.4
- 高木住之:住宅住能保証制度とその果たすべき役割(建築雑誌. Vol.103 No.l278). 1988. 10
- ISO 6240-1980 Performance Standard in Building Contents and Presentation
- 平野吉信:海外の「性能指向の建築基準」の動向(あらか 12), 建築研究所. 1994
- 田中哮泰:「新しい建築防火設計体系」の考え方(あらか12), 建築研究所. 1994
- 山內泰之:「新しい建築構造設計体系」の考え方(あらか12), 建察研究所. 1994
- ISO 6241-1984 Performance Standard in Building Principles of their Preparation and Factors to be Considered
- 日本建築學會耐久性小委員會:建築物の耐久計畵に關する考 え方, 日本建築學會, 1988
- 白山和久 : 鈴論 : 新愼能性住建築材料とは? (新愼能性建策材料 講習會), 石膏石灰學會, 1993.7
- 材料設計研究委員會 : 材料設計に關ずる研究(第3報)"[材料設計試驗方法 (建築研究

報告No.56) 建設省建築研究所. 1970.1
- ISO 6707-1 Building and Civil Engineering Vocabulary Part 1 : General Terms, 1989
- Harrison. H.W.: Terminology. (CIB W60 委員會資料), 1972.5
- 建設省縫合伎術開發プロジェクト「住宅性能總合評価システ ムの開發J (建築研究報告No.87). 建設省建築研究所. 1979.3
- Farag, M. M.: Materials and Process Selection in Engineering, Applied Science Publisher. 1979
- Cronberg, T., Hallquist, A.: Homan Requirements for Buildings, National Bureau of Standards Special Publication 361, March 1972
- 材料設計研究委員會 : 材料設計に關する研究(第5報)"[要 求條件の選定とグレ"[ド決定システム(建築研究報告No. 64) 建設省建築研究所. 1973.3
- 國土開發伎術研究センタ"[編 : 總合防火綬計法 (建築物の總合防火設計法 第1卷) 日本建築センタ"[. 1899.4
- 건축물의 성능표시 시대를 맞이하여, 김규용, 이상수, 송하영, 김무한
- 건축성능 향상을 위한 기술정책 방향 모색, 이현수
- 일본의 친환경 건축물 평가 시스템의 소개, 신인중
- 공동주택 부위별 요구성능 항목의 중요도 분석, 한인택, 한주연, 전재열, 신동우, 김경래
- 친환경상품진흥원 http://ecolabel.koeco.or.kr
- CASBEE(Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency), 建築物綜合環境性能評価 CASBEE-新築 2006년판

(다) 구조물기초 분야

- 건설교통부(1997), "내진설계기준 연구(Ⅱ)".
- 건설교통부(1999), "도로교표준시방서".
- 양태선, 구재동, 김제경(2007), "구조물 기초의 기준에 있어서 성능 설계의 경향과 적용", 한국지반공학회 가을 학술발표회 초록집.
- 양태선, 이규환, 구재동, 김제경(2007), "성능중심 설계의 적용을 위한 기본적 고

찰", 한국지반공학회 봄 학술발표회 초록집.
- 유충식, 김선빈(2007), "정보기술(IT)의 연약지반 설계 적용사례", 한국지반공학회 가을 학술발표회 초록집
- 윤길림(1999), "국제적인 설계기준인 한계상태설계법 연구".
- 윤길림, 이규환, 채광석(2004), "확률 및 신뢰성 개념을 도입한 지반설계 사례연구", 한국지반공학회 지반조사위원회 특별세미나.
- 윤길림, 윤여원, 김홍연(2007), "LRFD & Eurocode 7 설계를 위한 해양토질의 특성치 연구", 한국지반공학회 봄 학술발표회 초록집.
- 윤홍준, 정성준, 김명모(2007), "현장타설말뚝의 저항계수 산정에 관한 연구", 한국지반공학회 봄 학술발표회 초록집.
- 해양수산부(1999), "항만 및 어항시설에 대한 내진설계 표준서".
- 해양수산부(2005), "차세대 항만 설계기술 개발", 한국해양연구원.
- ISO; International Standard ISO2394, General principles on reliability for structures, 1998.
- CEN (2004), EN 1997-1 Eurocode 7 Geotechnical Design Part 1 General rules, CEN.
- ICC 2000, Final draft ICC Performance Code for Buildings and Facilities, International Code Council.
- ISO (1998), International Standard ISO/DIN 2394, General principles on reliability for structures, ISO.
- JGS (2002), The JGS foundation design guideline (Geo-code 21 ver.2), Foundation Design Codes and Soil Investigation in view of International Harmonization and Performance based Design (eds. Honjo et al.), Proc. IWS Kamakura, pp.399-449, A.A.Balkema Publishers
- JGS (2004), Principles for Foundation Designs Grounded on a Performance-based Design Concept (nickname ''Geocode 21'')
- Honjo, Y. and O. Kusakabe (2002), Proposal of a comprehensive foundation design code: Geocode 21 ver. 2, Foundation Design Codes and Soil Investigation in view of International
- Harmonization and Performance based Design (eds. Honjo et al.), Proc. IWS

Kamakura, A.A.Balkema Publishers pp.95-106.
- Honjo, Y., Y. Kikuchi, M. Suzuki, K. Tani and M. Shirato (2005), JGS Comprehensive Foundation Design Code: Geo-code 21, Proc. 16th ICSMGE, pp.2813-2816, Osaka.
- NKB(1978): Structure for Building Regulations, NKB Report No. 34
- Ovesen, N.K. (1989), General Report, session 30, Codes and Standards, Proc. ICSMFE, RiodeJaneiro.
- Orr, T.L.L. and Farrell, E.R. (1999): Geotechnical design to Eurocode 7, Springer.
- Ovesen, N. K.(1989), General Report, session 30, Codes and Standards, Proc. ICSMFE, RiodeJaneiro.
- Yamamoto, Shuji(1999), "Application of International Standards to the Design of Port and Habor Facilities in Japan and Associated Problems"

(라) 도로부대시설분야

- 건설교통부, 도로법
- 건설교통부, 도로설계기준, 2005
- 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙, 건설교통부, 1999
- 도로설계편람, 건설교통부, 1999
- 건설교통부, 도로공사표준시방서, 2003
- 한국도로공사, 고속도로공사 전문시방서 토목편, 2005
- 건설교통부 홈페이지 www.moct.go.kr
- 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침 - 시선유도시설 편, 2002
- 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침 - 조명시설 편, 1999
- 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침 - 차량방호 안전시설 편, 2001
- 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침 - 도로반사경 편, 2000
- 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침 - 미끄럼 방지포장 편, 1997
- 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침 - 과속방지턱 편, 1997
- 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침 - 낙석방지시설 편, 2000

- 손영태 외, 미국의 안전시설물 설계의 개념과 적용지침, 한국도로학회지, 제7권 1호, 2005
- 고만기 외, 차량방호 안전시설의 개발 방향, 한국도로학회지, 제7권 1호, 2005
- 건설교통부, 차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람, 2001
- 한국건설기술연구원, 도로설계편람(I) 최종보고서, 건설교통부, 1999. 8.
- 한국건설기술연구원, 도로시설 및 설계 기준 개선 방안 연구 최종보고서, 건설교통부, 2002. 12.
- 한국건설기술연구원, 차량방호 안전시설 성능기준 개선연구 최종보고서, 건설교통부, 2001. 7.
- 도로안전시설 설치 및 관리지침 연구-낙석방지시설, 도로반사경, 장애인 안전시설 편 작성, 한국건설기술연구원, 2000
- 건설교통부, "도로안전시설 설치 및 관리기준 연구 과속방지턱 및 미끄럼방지포장 편 작성,"1997.
- 일본도로협회, 도로반사경설치지침, 1980
- 시선유도표 설치기준 동해설(일본도로협회, 1984)
- 산업 및 교통안전용 재귀 반사시트, KS A 3507
- 교통노면표시 설치 관리 매뉴얼(구 교통안전시설 실무편람)(경찰청, 2005)
- 한국조명·전기설비학회 추계 학술대회 논문집, "각국의 도로조명 기준 비교분석 및 새로운 기준 제안," 2006.
- 한국조명·전기설비학회 추계 학술대회 논문집, "도로조명 계산법," 2000.
- Roadside Design Guide, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2002
- Takeshi Yoshida, Performance-Based Specification as a Step to Performance-Based Management and Maintenance of Pavement in Japan, Public Works Research Institute, Japan
- Terminology and general criteria for test methods, BS EN 1317-1, 1998
- Performance class, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers, BS EN 1317-2, 1998
- Performance class, impact test acceptance criteria and test methods for crash cushions, BS EN 1317-3, 2000

- Performance class, impact test acceptance criteria and test methods for terminals and transitions of safety barriers, BS EN 1317-4, 2001
- Product requirements and evaluation of conformity for vehicle restraint systems, BS EN 1317-5, 2001
- Standard specification for retroreflective sheeting for traffic control, ASTM D 4956
- Standard Specification for Extended Life Type Nonplowable, Prismatic, Raised Retroreflective Pavement Markers, ASTM D 4280
- Road marking materials - Retroreflecting road studs - Part 1 : Initial performance requirements , BS EN1463-1
- Nagao Takashi, Introduction of a Performance Based Design Concept into the Technical Standards for Port and Harbor Facilities, National Institute for Land and Infrastructure Management
- Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features, NCHRP Report 350, TRB
- Transportation Research Board, "Wet-Pavement Safety Program," NCHRP Synthesis of Highway Practice 158, 1990.
- C. G. Giles, "The Skidding Resistance of Roads and the Requirements of modern Traffic," Proc. Institution of Civil Engineers 6, 1957.
- G. F. Salt and W. S. Szatkowski, "A guide to level of skidding resistance for roads" TRRL Supplementary Report 510, 1973.
- DMS-4200, Pavement Markers (Reflectorized), Departmental Material Specifications, Texas Department of Transportation
- Pavement Marking Handbook, Texas Department of Transportation, 2004
- Texas Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways, Texas Department of Transportation, 2003

(마) 터널분야

- EFNARC, 'European Specification for Sprayed Concrete, European Federation

of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures', 1996
- Austrian Sprayed Concrete Guideline, 1999
- International Tunnelling Association Guideline, 2004
- Permanent International Association of Road Congresses Basis Design Guideline, 1999
- 대한토목학회 철도공사 전문시방서, 2004
- 대한토목학회 철도설계편람(터널), 2004
- 한국고속철도건설공단 고속철도공사 전문시방서, 2003
- 건설교통부 도로설계편람, 1999
- 한국도로공사 도로설계요령, 2002
- 건설교통부 도로공사 표준시방서, 2003
- 한국도로공사 고속도로공사 전문시방서, 2005
- 한국도로공사 숏크리트 관련 품질기준, 2002
- 건설교통부 터널설계기준, 1999
- 건설교통부 터널표준시방서, 1999

(바) 조경분야

- 한승호(2007) 조경용 투수포장의 환경성능 평가기법 연구, 서울대학교 박사학위논문
- 권경호(2004) 옥상벽면녹화를 통한 건축물 에너지 절약 및 빗물관리, 조경시공 2004(05), pp. 58-62
- 工藤庸介, 桑原孝雄, 木全 卓, 北村拓也(2004) 農業用水路が持つ親水機能の性能規定化に關する基礎的 硏究, 農業土木學會誌 72(3): 29-33.
- 北村拓也(2005) 親水機能を考慮した河川構造物の設計基準の性能規定化に關する硏究, 大阪府立大學 修士論文.
- 野中 資博 (2006) コンクリート工における性能設計とその特徵(農業土木學會土地改良施設に關する性能および機能檢討委員會編, 性能設計チュートリアル) pp. 1-14.
- 立山 富士彦(1998) 造園工事の性能規定化を考える, ((社)日本造園學會 關東支部

技術部會 ″技術部會10年の歩み″) pp. 28-30.
- (社)日本造園建設業協會 入札・契約制度檢討作業部會(1999) あすの造園工事業を考える - 造園工事の 性能規定化-
- (財)建材試驗センター(2006)建設資材における環境主張適合性 評價ガイド
- (財)建築環境・省エネルギー節約機構 (2006) 建築物綜合環境性能評價システム, CASBEE一まちづくり 評價マニュアル.
- (財)日本建築センター(2002)環境改善のための屋上綠化建築技術認定基準
- 日本農業土木總合研究所(2003) 水土の知を語る, vol. 7.
- 中島賢二郎(2002)性能設計に關する諸問題, 研究レポートNo.23.
- http://www.city.yokosuka.kanagawa.jp/pfi/data/data04.pdf
- http://www.mlit.go.jp/gobuild/kijun/perform/perform.pdf
- http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/policy/pfi/pfiproject.pdf
- http//web.pref.hyogo.jp/contents/000019338.pdf
- http://www.pa.ktr.mlit.go.jp/keihin/nyusatu/pdf/setumei0271.pdf
- http://www.hrr.mlit.go.jp/gijyutu/hinkaku/pdf/sougougaido.pdf
- http://www.ci.**loveland**.co.us/WP/water/Conservation/landscape/site_dev_current.pdf
- http://www.mlit.go.jp/gobuild/kijun/perform/perform.pd

(사) 건축기계설비 분야

- 성능 중심의 건설기술기준 작성 지침 개발, 워크샵 겸 자문회의 자료, 한국건설기술연구원, 2007.6.4
- Alphonse J. Dell'Isola and Stephen J. Kirk, LIFE CYCLE COSTING FOR DESIGN PROFESSIONALS, McGraw-Hill, 1981
- 2007년도 종합건설사전기협의회 전문 워크샵, 대한전기학회 하계학술대회, 2007. 7. 18
- ISO 6421, Performance Standard in Building-Principles of their Preparation and Factors to be considered, 1981
- 日本建築學會 耐久性小委員會, '建築物の耐久計劃する考관え方', 日本建築學會, 1988

- '官廳施設の總合耐震計劃基準及同び解說, 日本公共建築協會, 1997
- 'グリーン廳舍基準及同び解說, 日本公共建築協會, 2005
- '建築設備設計基準', 日本公共建築協會, 2006
- '變電所における 電氣設備の耐震設計指針', JEAG 5003, 日本電氣協會, 1998
- 日本電氣設備の技術基準とその解釋, 日本電氣協會, 2007
- 竹谷是幸, 'IEC規格による電氣安全, 理工圖書, 2001
- 塚井孝一, "特輯 : 施設・設備別にみたライフサイクルコストの考え方", 日本電氣設備學會誌, Vol. 24, No. 2, 2004
- 渡弁 忍, "特輯 : 電氣設備の壽命", 日本電氣設備學會誌, Vol. 26, No. 9, 2006
- Charles R. Miller, Pocket Guide to Commercial and Industrial Electrical Installations, National Fire Protection Association, 2005 Edition
- MasterFormat, The Construction Specifications Institute, 2004 Edition
- ISO 6707-1, Building and Civil Engineering Vocabulary Part 1 : General Terms, 1989
- CIB, The Performance Concept and its Terminology, CIB Report No.32, 1975
- 독일 건설공사 계약 및 발주규정(VOB 2000), 2000
- 독일 규격, AMEV, DIN A 5 및 DIN A 4
- JIS Z 8101(品質管理 用語), 1981
- 건축전기설비공사 표준시방서, 한국조명전기설비학회, 2003
- 건축전기설비설계기준, 한국조명전기설비학회, 2005
- 왕희두, 초고층 건축물의 전력시스템, 2007년도 대한전기학회 하계학술대회, 7/18, 2007
- 김양동, IBS 건축물의 인증기준과 해설, 2007년도 건축전기설비기술사 CPD 교육교재, 2007
- 초고속정보통신건물 인증제도 설명회 자료, 2007.6.29
- 최재덕, 건설공사 발주 방식(한국과 미국의 발주 방식, 입낙찰 방법과 절차 비교), 한국건설산업연구원, 2006.6
- 이의섭, 건설하도급 계약 관련 제도개선 방안, 한국건설산업연구원, 2003
- 이재섭, 건설보증 분쟁해결의 소송 유효성에 관한 실증적 연구, 동국대학교 박사학위논문, 2005

- 원종식 외, 해외 성능계약제도 현황 및 국내 도입방안, 건축사사무소 건원엔지니어링, 2007.2.28
- 이상호, 이승우, '최고가치(Best Value) 낙찰제도 도입을 위한 기초 연구, 한국건설산업연구원, 2006
- 조문영, 구재동 외, 공사시방서 작성 요령, 건설교통부/한국건설기술연구원, 1999.11
- 한국전기신문, "성능 강화, 업계 부담 경감 지원책 마련해야 -한전, GIS 시험등급, 친환경 구매규격 제정 공청회", 2007.6.11