

대한민국 의료시설의 내진성능 향상을 위한 연구

Toward Seismic Enhancement of Medical Facilities in Korea

김장훈* Kim, JangHoon | 권순정** Kwon, Soonjung | 이충재*** Lee, ChungJae

Abstract

Over a past century, the continuity in post-earthquake serviceability of medical facilities has been demonstrated to be essential for sustaining a society and/or a nation stable. However, not many countries including Korea have paid appropriate attention to such a lesson learned from the previous experiences of the countries located in high seismicity for various reasons, one of which may be the lack of social consensus in allocating a portion of the resources to the earthquake preparedness. As a result, an earthquake-related policy might have been pushed away out of the list of priority in the government agenda. Therefore, the present paper attempts to persuade the public general, experts and government officials together to seek a way to upgrade the seismic safety of the country a step forward by enhancing the seismic performance of medical facilities. For this the framework of seismic design codes and standards for medical facilities, and Californian experience in managing the seismic performance enhancement program and U.S.-Italian collaborative study to improve the seismic safety of Italian hospitals are reviewed. Finally, a list of further researches and practices to perform for seismic enhancement of medical facilities in Korea are suggested.

키워드 병원, 의료시설, 구조재, 비구조재, 내진설계, 내진보강

Keyword hospitals, medical facilities, structural components, non-structural components, seismic design, seismic retrofit

1. 서론

병원 건물은 환자를 수용하고 진료하는 평상시의 기능을 유지하여야 할뿐만 아니라 지진의 발생과 같은 유사시에는 이에 더하여 지진으로 인하여 다친 사람들에게 응급조치를 제공하여야 하는 추가적인 기능을 감당하여야 할 것으로 기대되는 특수한 구조물이다. 이를 반영하듯 우리나라를 비롯한 세계 여러 나라의 내진설계기준에서는 일반 건물에 비하여 강화된 설계요건을 병원 건물에 적용하도록 규정하고 있다.

우리나라 건축물 내진설계기준은 1988년 처음으로 제정된 이래 2000년, 2005년 및 2009년, 세 차례의 개정을 거치며 강화되었지만, 국토해양부 통계자료에 따르면 2010년 현재 우리나라 건축물 중 내진설계기준을 반영하여 건립된 것은 16.8%에 불과한 것으로 집계되었다(국토해양부 2010). 이렇게 적은 내진설계비율은 물론 내진설계기준의 제정 및 그 후 수차례에 걸친 개정 이전에 건립되어 이

미 존재하는 건물 수의 영향 탓도 있겠지만, 우리나라 건축물의 내진성능 향상 프로그램은 현재진행형임이며, 앞으로도 가야할 길이 멀고도 험난할 것임을 암시하는 것이라고 하겠다. 더욱이 재료와 하중의 불확실성에 근거하여 만들어진 내진설계기준이 내진성능을 확보하기 위한 최소한의 요건을 감안하면, 내진설계기준을 반영하였다는 사실 자체만으로 미래의 지진에 대한 안전성이 보장되는 것이 아님은 자명하다. 뿐만 아니라 내진설계 요건에 따라 설계된 건물이라고 하더라도 내진설계 전문가에 의하여 행해진 내진설계가 아닌 경우 내진설계 기준을 외형적으로는 충족하였을지 몰라도 기준의 요건에 의하여 기대되는 건축구조물의 거동과는 상관없는 설계가 될 우려가 존재하게 된다.

병원 건물은 소방서, 발전소, 상하수도, 가스 및 전기통신 공급선 등과 함께 지진 후 사회기능 유지를 위하여 지진 후에도 정상적으로 작동하여야 하는, 그래서 생명선(lifeline)이라고 일컫는, 사회정치-공학적(sociopolitical-engineering) 요소를 갖춘 중요한 시설로 분류된다. 따라서 일반적으로 병원 건물은 사회적 기능적 특성상 다른 건축물에 비하여 비교적 철저한 설계와 시공과정을 통하여 조금은 더 나은 내진성능을 갖추었을 것으로 기대되지만, 애

* 아주대학교 공과대학 건축학과, 교수, 정회원

** 아주대학교 공과대학 건축학과, 교수, 부회장

*** 아주대학교 공과대학 건축학과, 석사과정

석하계도 기존의 우리나라 병원 건물이 어느 정도의 내진 성능을 갖추고 있는지에 대한 연구는 전무하다시피 한 것이 현실이다. 이런 상황은 의료시설의 내진성능 향상을 위한 특별법에 따라 수십 년에 걸쳐 대대적인 병원 건물의 내진성능 향상 프로그램이 진행되고 있는 미국 캘리포니아 주의 경우 (Tokas and Schaefer, 1999b)와 대조되는 것이며, 이로써 지진에 대하여 완전히 자유롭지 못한 우리나라에서도 지진에 대한 안전망 확충을 위한 주요 요소 중 하나인 병원 건물의 내진성능 향상을 위한 프로그램의 필요성이 제기된다.

그러므로 이 연구를 통하여 우리나라의 대 지진 안전망을 한 단계 향상시키기 위한 사회적 비용 지불에 대한 구성원 간 공감대를 제고하고 우리나라 의료시설의 지진 후 성능 보장을 위하여 수행하여야 할 선결과제를 제안하고자 한다. 이를 위하여 캘리포니아 주 병원 건물 내진성능 향상 프로그램 및 이탈리아 병원 건물 내진성능 향상을 위한 미국-이탈리아 공동연구 사례를 연구하였다.

2. 의료시설을 위한 내진설계기준

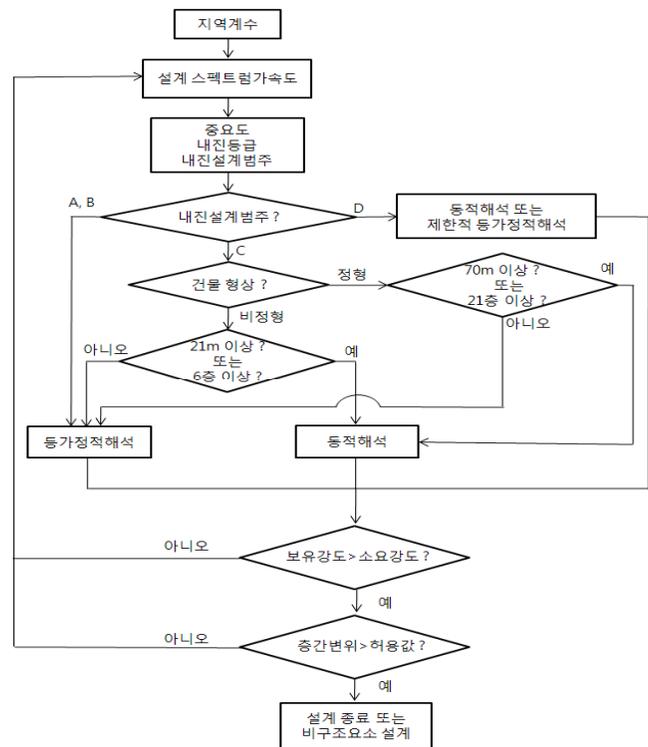
일반적인 기대와는 달리 대개의 내진설계기준에서는 병원의 특수성을 고려하여 일반 건물에 비하여 강화된 요건을 제시하고 있을 뿐 병원 건물만을 위한 별개의 내진설계기준은 현재 존재하지 않는다고 보아야 한다. 병원의 내진성능 향상을 전담하는 강력한 행정조직을 갖추고 병원 내진설계 및 보강을 추진하고 있는 미국의 캘리포니아 주 마저도 병원 건물의 내진설계 및 보강을 실시하기 위한 설계조항이 포함된 포괄적인 기준은 있지만, 병원 건물만을 위한 별개의 내진설계기준은 가지고 있지 않다.

2.1 내진설계기준의 열개

현재 우리나라의 내진설계기준은 KBC 2009(대한건축학회 2009)의 '0306 지진하중'으로 규정되어 있으며, KBC 2009는 미국의 IBC 2000(IBC 2000)을 근간으로 하여 만들어진 KBC 2005(대한건축학회, 2005)에 IBC 2006(IBC 2006)의 개정 부분을 반영하고, 우리나라의 설계 및 건설 종사자들의 의견을 토대로 보완하여 만들어졌다.

이 기준에 의하여 일반 건물의 내진설계를 실시하는 개념도는 그림 1과 같다. 먼저 건물의 용도 및 규모에 따라 중요도가 결정되고, 중요도에 따라 내진등급과 중요도계수가 결정된다. 또한 건물이 놓일 위치를 근거로 지역계수가 결정되면 지반 상태에 따라 설계스펙트럼가속도를 작성할 수 있다. 그리고 내진등급과 설계스펙트럼가속도를 이용하여 내진설계범주가 결정되면, 건물배대의 평면 및 입면 형상 그리고 규모에 따라 지진하중을 산정하되 앞서 구한 중요도계수, 건물의 구조시스템에 따른 반응수정계수, 초과강

도계수 및 변위증폭계수를 이용하여 지진하중을 증감시킨다. 이때 내진설계범주, 건물의 형상 및 규모에 따라 등가정적해석 또는 동적해석을 수행하여 지진하중에 의하여 구조물에 발생하는 각종 내력과 층간변위를 구한다. 이렇게 구한 소요강도가 각 구조부재의 보유강도보다 작고, 층간변위가 허용한계를 벗어나지 않으면 설계를 종료하거나 다음단계로 비구조재의 설계를 수행할 수 있지만, 소요강도가 보유강도를 초과하거나 층간변위가 허용한계를 초과하면 구조부재의 단면 또는 구조시스템을 보완하여 설계기준의 요건을 만족시킬 때까지 설계과정을 반복하게 된다.



[그림 1] 내진설계기준의 열개

2.2 의료시설 관련 조항

그림 1에 보이는 내진설계기준의 열개에 대한 설명 중 병원 건물 관련 조항은 중요도 및 내진등급, 그리고 이들에 의하여 결정되는 중요도계수이다. KBC 2009(대한건축학회 2009)에 따르면, 종합병원 및 수술시설이나 응급시설이 있는 병원은 중요도(특)에 해당하고, 수술시설과 응급시설이 모두 없는 병원 및 연면적 1000m² 이상인 의료시설로서 중요도(특)에 해당하지 않는 건물은 중요도(1)에 해당하고, 그 외 의료시설은 중요도(2)에 해당한다. 이에 따라 우리나라 병원 건물은 내진등급 각각 특, I 및 II, 그리고 중요도계수 각각 1.5, 1.2 및 1.0을 적용할 수 있으며, 내진설계범주도 A, B, C 및 D 모두를 적용할 수 있다.

이에 비하여 미국 캘리포니아 주의 경우(ASCE 7-05, 2005) 수술시설이나 응급시설이 있는 병원은 용도(Oc-

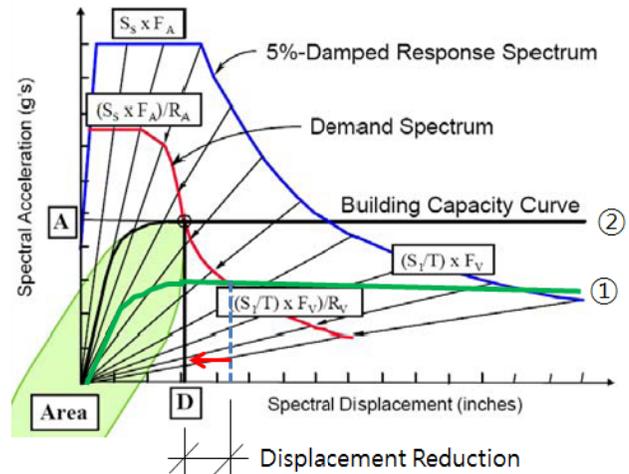
cupancy Category) IV에 해당하고, 수술시설이나 응급시설이 없는 50 병상 이상을 갖춘 의료시설은 용도 III에 해당하고, 그 외 의료시설은 용도 II에 해당하여 각각 중요도계수 1.5, 1.25 및 1.0을 적용하며, 원칙적으로는 내진설계범주 A, B, C, D 및 F를 적용할 수 있다. 하지만 캘리포니아 주 보건개발국(Office of Statewide Health Planning and Development, OSHPD)에 의하여 수정·강화된 기준에 따라 캘리포니아 내 모든 병원 건물의 설계 및 시공에는 최소한 내진설계범주 D를 적용하여야 하는 것으로 규정되어 있다(CBC 2010b).

내진설계기준의 의료시설 관련 조항 중 우리나라의 것과 미국 캘리포니아 주의 것을 비교하여볼 때, 우리나라의 내진설계기준 자체가 IBC 2000 및 2006을 근거로 하여 만들어진 것인 만큼, 그 체계와 내용이 크게 다르지 않다. 다만 우리나라의 경우 지반상태에 따라 내진설계범주 A, B, C, D를 모두 적용할 수 있는 반면, 캘리포니아 주의 경우 지반상태와 관계없이 최소한 내진설계범주 D를 적용하여야 하고 나아가 반응수정계수, 초과강도계수 및 변위증폭계수 등 계수를 구하기 위하여 허용되는 병원 건물 구조시스템의 범위가 더욱 엄격하다는 것이다. 하지만 이는 우리나라보다 지진의 발생빈도와 세기가 훨씬 높고 큰 캘리포니아의 지역적 특성으로 인한 차이 때문이라고 이해할 수 있다.

2.3 중요도계수의 의미

중요도계수는 설계기준에 따라 계산되는 지진하중을 중요도계수의 곱만큼 증가시켜줌으로써 결과적으로 보유강도를 중요도계수의 곱만큼 커지게 하는 역할을 한다. 중요도계수에 의하여 증폭된 보유강도가 의료시설의 내진 성능에 미치는 영향은 보유능력-요구량 곡선의 중첩에 의한 구조물의 내진성을 나타내는 그림 2에 의하여 설명된다. 그림은 건물과 같이 복잡한 구조시스템의 지진에 대한 응답 스펙트럼을 대략적으로 그렇지만 간단한 방법으로 구하고자 가정된 단자유도계(Single Degree of Freedom System)의 지진에 대한 최대 응답을 기본주기 또는 기본주파수의 함수로 나타낸 것이다. 그림의 X-축은 기본주기별 최대 변위를, Y-축은 이에 대응하는 최대 밀면전단력을 건물의 무게로 나누어 구한 최대 의사가속도(spectral pseudo-acceleration)를 나타낸다. 이렇게 구한 5% 감쇠 응답스펙트럼(5% Damped Response Spectrum)에 반응수정계수를 적용하면 설계소요스펙트럼(Demand Spectrum)이 구해진다. 여기에 구조물의 보유능력을 반영한 힘-변위 곡선 ①과 이를 중요도계수만큼 증폭시켜 구한 곡선 ②를 중첩시켜 교차점을 읽으면 설계된 건축물의 예상응답(소요강도 및 소요변위)을 구할 수 있다. 즉 중요도계수를 적용함으로써 소요강도는 그만큼 증가하지만, 소요변위는 상당부분 감

소함을 알 수 있다. 이렇게 하여 중요도계수를 제대로 반영하여 설계된 병원 건물은 일반 건물에 비하여 구조부재의 단면이 더 커지거나 부가적인 횡력 저항 매커니즘을 설치하여야 하겠지만, 반면에 층간변위를 줄일 수 있어 구조부재에 부착되어 설치된 건축, 전기, 기계 및 의료장비 등 비구조재를 보호함으로써 지진 후에도 의료서비스 기능을 유지할 가능성이 더 커지게 되는 것이다.

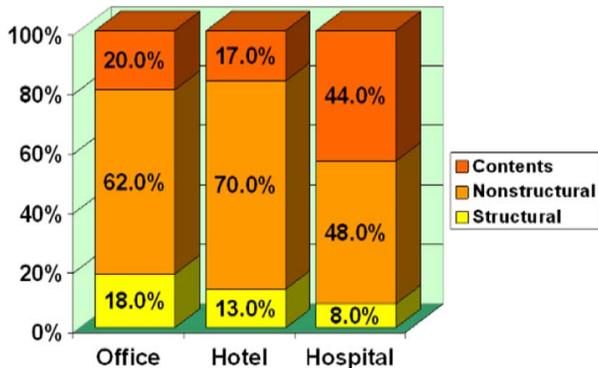


[그림 2] 보유능력-요구량 곡선 중첩에 의한 구조물의 내진성능 예측 (HAZUS MH-MR1 2003, 부분적으로 인용함)

2.4 비구조재

비구조재는 구조물의 주요 하중전달경로에 참여하지는 않지만, 건축물의 기능유지를 위하여 필수적인 요소이다. 건축물의 기능이 첨단과학화 됨에 따라 건설비용 중 비구조재가 차지하는 비율은 날로 높아지고 있어 그 중요성이 날로 증대되고 있는 실정이다. 그림 3에서 보이는 바와 같이 현대 건물의 건설비에서 구조재(Structural)가 차지하는 부분은 건물의 용도에 따라 8%~18%를 차지하는 반면, 각종 기계전기 장비를 포함한 비구조재(Nonstructural 및 Contents)는 82%~92%를 차지한다. 그중에서도 병원의 건설비에서 비구조재가 차지하는 비율은 92%로 최고이다(OSHPD 2010). 비구조재의 중요성은 경제적인 측면에서뿐만 아니라 기능유지 및 생명안전 측면에까지 영향을 미친다. 즉 그림 4와 같은 비구조재의 손상은 경제적인 손실은 물론이고, 이로 인하여 건물 뼈대에는 손상이 없음에도 불구하고 의료서비스가 부분적으로 또는 전면적으로 중단될 수도 있으며 의료진이나 환자의 상해 또는 생명의 손실로까지 이어질 수 있기 때문이다. 이를 반영하듯 1994년 노스리지(Northridge) 지진 후 병원 건물의 손상으로 인한 피해액이 32억 달러로 집계되었는데 그 대부분이 비구조재의 손상으로 인한 것이었다(OSHPD 1995). 건설비용에서 비구조재가 차지하는 비중이 이렇게 크에도 불구하고 대개의 경우 비구조재는 내진설계기준 뿐만 아니라 설계 및 시

공과정에서도 건설비용 비율의 역의 비중으로 다루어지고 있는 것이 현실이다.



[그림 3] 현대 건축물의 부문별 건설비용 비중(OSHPD, 2010)



[그림 4] 2006년 규모 6.7의 지진에 의하여 손상된 진앙으로부터 남쪽으로 56km 떨어진 하와이 코나 시립병원 수술실 천장 (FEMA 577, 2007)

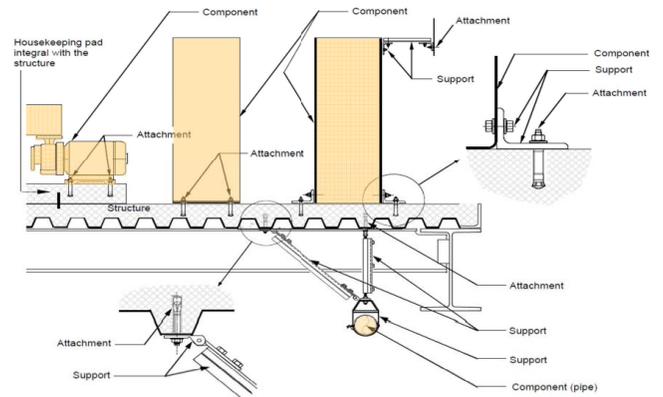
KBC 2009에서 비구조재 설계를 위한 등가 정하중 를 구하는 기본 식은 다음과 같다(대한건축학회 2009; CBC 2010b).

$$F_p = \frac{0.4a_p S_{DS} W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right) \dots\dots\dots (1)$$

- a_p = 1.0~2.5 사이의 값을 갖는 증폭계수
- S_{DS} = 단주기에서의 설계스펙트럼가속도
- W_p = 비구조요소의 가동중량
- R_p = 비구조요소의 반응수정계수로서 1.0~5.0
- I_p = 비구조요소의 중요도계수로서 1.0 또는 1.5
- z = 비구조요소가 구조물의 밑면으로부터 부착된 높이
- h = 구조물의 밑면으로부터 지붕 층까지의 평균높이

식 (1)로부터 구한 등가 정하중은 그림 5와 같이 장비를 바닥에 고정시키는 앵커볼트 및 횡가새(lateral bracing)

를 설계하는데 사용한다. 앵커볼트는 지진에 의한 진동으로 인하여 건물이 흔들릴 때 장비가 미끄러지거나 넘어지지 않도록 잡아주며, 과도한 흔들림으로 인하여 장비 내부 기기가 파손되어 장비가 오작동하지 않도록 흔들림의 정도를 제한하는 역할을 한다. 앵커볼트의 보유능력이 충분하지 않을 경우에는 장비 상단에 횡가새를 설치하여 장비 상하부의 상대변위가 커지지 않도록 제한한다. 건물바닥에 매달린 덕트나 파이프라인 및 천장에도 횡가새로 삼각형을 형성하도록 하여 비구조요소와 건물바닥과의 상대변위를 허용 값 이내가 되도록 제한한다. 그러나 용량과 크기 및 형태가 다양한 비구조요소를 고정시키기 위하여 존재할 수 있는 이론적으로 무한한 수의 상세는 관리가 복잡할 뿐만 아니라 그 성능을 신뢰하기 어렵기 때문에 캘리포니아 주 OSHPD에서는 이미 사용하여 문제가 없었던 비구조재 고정 상세에 인증을 부여하여 다음 번 시공에 동일한 상세를 사용할 경우 심사를 면제하는 제도를 시행하고 있다(OSHPD 2010).



[그림 5] 설비 및 장비 비구조재 고정 상세 예

3. 의료시설 내진성능 향상 프로그램 사례연구

3.1 캘리포니아 주 의료시설 내진성능 향상 프로그램

1925년 산타바바라(Santa Babara) 지진의 영향으로 1927년 미국 최초의 내진설계기준이 제정된 이래 건축물의 지진에 대한 안전도를 높이고자 여러 법안들이 발의되었지만, 캘리포니아 주 병원 건물 내진성능 향상 프로그램이 본격적으로 시작된 것은 1971년 로스앤젤레스(Los Angeles) 북부지역에서 발생한 산페르난도(San Fernando) 지진을 겪고 나서부터이다. 산페르난도 지진으로 인하여 여러 병원 건물이 손상되었는데 그 중에서 건립된 지 2년밖에 안된 올리브뷰 병원 건물이 그림 6에서 보이듯이 심한 손상을 입었고 결국은 철거된 것이다. 이를 계기로 1972년에 주 상원법안 519(SB 519)가 발의되었는데 법안의 요지는 설계 시 지반상태를 고려하고, 병원 건물에 중요도계수 3을 적용하며, 비구조재에 대한 설계요건을 만들고, 설계



(a) 지진 후 전경



(b) 가까이서 본 손상 현황

[그림 6] 1971 산페르난도 지진에 의해 손상된 올리브뷰 병원 (Godden Collection, EERC, University of California, Berkeley)

및 시공 시 철저한 점검을 한다는 것이었다. 또한 이 법안에 따라 전문가로 구성된 건물안전위원회를 설치하였지만, 새로이 짓는 건물만을 대상으로 하였다. 1982년에는 상원법안 961(SB 961)이 통과되었는데 이는 병원 지진 안전법안(Hospital Seismic Safety Act, HSSA)으로 요지는 병원과 관련된 지방정부의 모든 권한을 OSHPD에 집중시키는 것이었다.

병원 건물의 내진설계에 대한 새로운 자각을 하게 된 것은 1989년 샌프란시스코(San Francisco) 만 지역에서 발생한 로마프리에타(Loma Prieta) 지진을 겪은 후이다. 과거와는 달리 로마프리에타 지진에 의한 병원 건물 구조재의 피해는 거의 없었지만, 엘리베이터, 비상용 발전기, 통신시설, 산소저장탱크, 가구 등 광범위한 비구조재의 피해가 보고되어 비구조재에 대한 기준을 강화하는 계기가 되었다. 그리고 로마프리에타 지진이 발생한 후 23년 만인 1994년 거의 동일한 지역인 노스리지에서 강력한 지진이 발생하였다. 이 지진으로 인하여 올리브뷰 병원 정도의 피해는 없었지만, 몇 개의 병원은 구조 및 비구조재의 손상을 입어 문을 닫는 사태가 발생하였으며, 보-기둥 접합부의 거동을 성찰하는 계기가 되었다.

여러 차례의 지진을 경험하며 지진에 대한 건축물의 저항원리를 조금씩 더 이해하게 됨으로써 내진설계기준이 발전하였지만, 동시에 내진설계 및 시공을 강제하는 행정절차상 시스템의 발달을 눈여겨보아야 한다. 철저한 행정절차상 시스템이야말로 내진설계기준의 정신이 건물 곳곳에 스며들도록 보장하는 메커니즘이기 때문이다. 이를 위하여 발의된 법안이 주 상원법안 1953(SB 1953)이다. SB 1953은 1994년에 발의되어 2030년 1월 1일까지 캘리포니아 주 내 모든 병원의 내진성능을 기능보장 수준으로 향상시키는 것을 목표로 OSHPD로 하여금 새로이 건립되는 병원 건물에 대한 철저한 내진설계 및 시공의 보장은 물론이고, 기존

의료시설에 대하여도 최신의 내진설계기준에 맞게 대대적인 내진보강을 추진하는 것을 골자로 하고 있다. 이를 위하여 OSHPD는 병원의 신축 및 증축 그리고 운영에 대한 면허발급 및 취소 등 강력한 행정조치를 취할 수 있는 권한을 갖게 되었다. 그림 7은 SB 1953 법안이 설정한 목표를 달성하기 위한 구체적인 일정계획이다(Tokas and Schaefer, 1999b). 여기서 의료시설 성능수준별 목표는 표 1에 정리되어 있다. 표에서 보이듯이 목표성능 수준은 구조재 및 비구조재별로 각각 5개 등급으로 나누어 관리된다.

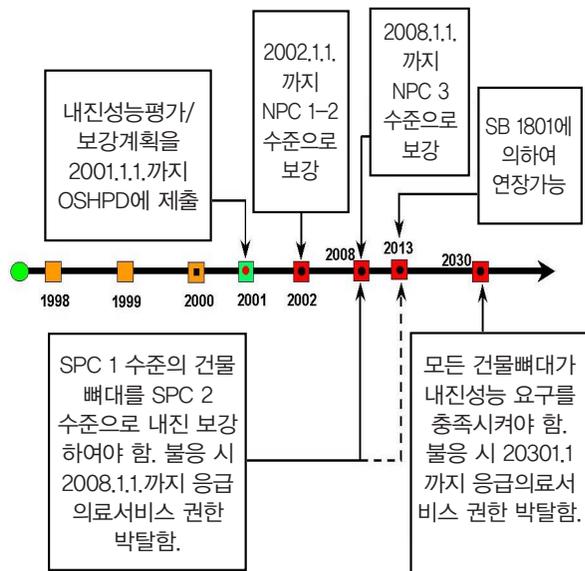
캘리포니아 의료시설 내진성능 향상 프로그램을 수행함에 있어 OSHPD의 임무이자 권한은 다음과 같이 요약된다(Tokas and Schaefer, 1999a).

- (1) 의료시설 건설 관련 기준을 제정한다
- (2) 의료시설의 신축, 개축, 증축 등 전반에 관한 도면 및 시방서를 승인한다
- (3) 시공이 승인된 도면과 시방서대로 수행되는지 건설 전 과정을 감독한다.

[표 1] SB 1953에 따른 구조재 및 비구조재 내진성능등급

분류	최소요건	구조재	
		구조재	비구조재
SPC 1	붕괴위험이 있는 HSSA 이전 건물		
SPC 2	생명에는 심각한 위협이 되지 않는 HSSA 이전 건물		
SPC 3	HSSA 이후 건물로서 1994년 이전에 설계되었고 단층지역에 위치한 철골모멘트골조. 이런 건물은 강진 후 일반에게 정상적인 의료서비스를 제공할 수 없을 정도로 충분한 손상 가능성이 있음. 골조 접합부의 손상 수리를 위한 철수가 필요할 수 있음.		
SPC 4	HSSA 이후 건물로서 1988년 이전 캘리포니아 기준에 의하여 설계된 비(非) 철골모멘트 골조. 이런 건물은 강진 후 일반에게 정상적인 의료서비스를 제공할 수 없을 정도로 충분한 손상 가능성이 있음.		

분류	최소요건
구조재	
SPC 5	HSSA 이후 건물로서 1988년 이후에 설계되었고 일반에게 정상적인 의료서비스를 제공할 수 있는 건물.
비구조재	
NPC 1	부적격
NPC 2	통신, 비상발전기, 의료용 가스, 화재경보장치 및 비상등이 Title 24, Part 2에 따라 정착
NPC 3	NPC 2에 더하여 응급처치, 임상실험실, 약제실, 방사능실 및 중앙 위생용품 공급 구역에 Title 24에 따른 정착 (1982년 이후 건설된 건물의 경우 스프링클러 가새 제외)
NPC 4	병원시설 전반에 걸쳐 Title 24, Part 2의 비구조재 정착 요건 (1982년 이후 건설된 건물의 경우 스프링클러 가새 제외)
NPC 5	NPC 4에 더하여 72시간 비상가동 요건



[그림 7] SB 1953에 따른 의료시설 내진보강 추진일정(Tokas and Schaefer, 1999b)

캘리포니아 의료시설의 내진성능 향상을 위한 이런 노력의 결과 노스리지 지진 후 병원 건물 지진피해조사 결과, 조사 대상 23개 병원 건물 82개 동 중 1982년 발의된 HSSA 법안 이전에 지어진 건물의 24%가 구조재의 손상을 입었고 61%가 비구조재의 손상을 입었던 반면, HSSA 법안 이후에 지어진 건물의 피해는 구조재의 손상은 없었고 비구조재의 손상을 입은 건물은 23%에 불과하여 내진성능 향상 프로그램의 유효성이 입증되었다고 할 수 있다(Tokas and Schaefer, 1999b).

3.2 이탈리아 병원 건물 내진성능 향상을 위한 미국-이탈리아 공동연구

캘리포니아 주 의료시설 내진성능 향상 프로그램의 효

과에 힘입어 이탈리아 국립 지진연구소와 미국의 응용기술 협회(Applied Technology Council, ATC)는 이탈리아 병원의 지진에 대한 위험수준을 감소시키기 위한 협력연구를 수행하였다. 연구결과 이탈리아 병원 건물의 지진에 대한 안전도 개선을 위한 장단기 권고안 10개를 제안하였다(ATC 2000). 또한 이탈리아 병원의 지진에 대비한 비상계획(ATC 2002)과 이탈리아 병원 건물 비구조재의 정착 및 가새 보강 지침(ATC 2003)을 제안하였다. 장단기 권고안은 6개 단기 권고안과 4개 장기 권고안으로 구성되어 있으며, 우리나라 의료시설의 내진성능 향상을 위한 연구에도 좋은 참고자료가 될 수 있기에 아래와 같이 정리하였다.

<단기 권고안>

- (1) 설계 및 시공의 품질관리를 지속적으로 점검하고 내진설계를 강제할 구체적인 지침을 마련할 것
- (2) 신축요건, 내진보강범위, 건물의 기능에 따른 성능목표, 프로그램의 실시방법 및 범위, 재원의 규모 및 출처 등을 감안하여 선택 가능한 지진위험감소 프로그램을 정할 것
- (3) 비구조재 고정을 위한 보강 가새 및 정착을 적용할 것
- (4) 비보강 조적조 병원 건물의 건립을 금할 것
- (5) 지진발생 후 그 지역 병원건물의 지진응답과 관련한 지진데이터를 갱신할 것
- (6) 지진에 대한 계획 및 지진 후 검사 계획을 수립할 것

<장기 권고안>

- (1) 비구조재 가새 보강을 위한 적극적 프로그램을 마련할 것
- (2) 병원 건물에 사용할 수 있는 구조시스템의 제한, 연성상세 규정 및 콘크리트구조의 시공 개선, 지반조건 고려 강화, 비지진지역의 최소요건 강화 등을 포함하여 내진설계기준을 개선할 것
- (3) 성능중심 내진설계기준을 마련할 것
- (4) 기존 병원 건물을 체계적으로 분류할 것

4. 우리나라 의료시설 향상을 위한 제안

4.1 우리나라 병원 관련 데이터 현황

보건복지부(2011) 및 대한병원협회(2011)에 따르면 2010년 현재 우리나라에 존재하는 의료시설은 병의원, 특수병원, 치과병원, 한방병원, 조산원 등을 포함하여 모두 56,244개이다. 이들의 지리적 분포를 KBC 2009(대한건축학회 2009)의 지진 지역계수 지도에 겹쳐 그리면 그림 8과 같다. 여기서 등고선의 형태로 그려진 선은 설계스펙트럼가속도를 산정하기 위한 지역계수의 크기를 지리적으로 시각화 한 것이다. 따라서 이 그림은 우리나라 병원이 어느 정

도 세기의 지진대에 위치하고 있는지 지리적 분포를 나타내는 것이다. 의료시설 내진성능 향상 필요성을 논하기 위하여 이 자료를 확장하면 표 2와 같이 정리할 수 있다.



[그림 8] 우리나라 지진 지역계수별 의료시설 분포 현황

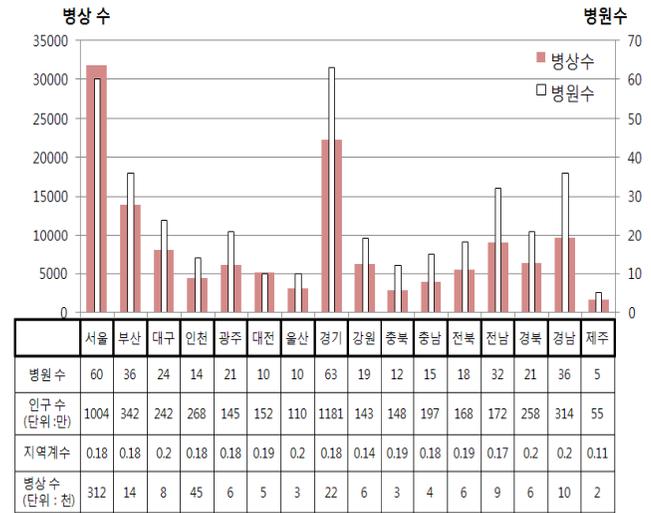
[표 2] 내진설계기준 개정 연도별 병의원 수 변화 추이

구분	계	병의원				기타 설계기준
		종합병원	요양병원	일반병원	의원	
1988a	18,316	213	0	323	9,525	최초제정d
2000b	38,665	285	0	581	19,472	하중기준e
2005c	49,566	290	177	794	25,412	KBC2005f
2009c	55,769	312	762	1,129	27,104	KBC2009g
2010c	56,244	312	849	1,154	27,334	

a (통계청 1988)
b (보건복지부 2007)
c (보건복지부 2011)
d (대한건축학회 1988)
e (대한건축학회 2000)
f (대한건축학회 2005)
g (대한건축학회 2009)

표에 따르면 우리나라 병의원 56,244개 모두가 KBC 2009(대한건축학회 2009) 이전의 기준에 의하여 설계되었기 때문에 최신 기준에 의한 평가대상이라고 할 수 있다. 막상 지진이 발생하고 그로 인한 사상자가 발생하면 그 지역의 응급시설을 갖춘 의료기관의 역할이 막중해진다. 그림 9는 대한병원협회(2011) 자료를 참고하여 우리나라 의료기관 중 응급시설을 갖춘 병원 수, 병상 수 및 인구의 지역적 분포와 지진 지역계수를 함께 나타낸 것이다. 이런 자료들은 지진 등과 같은 유사시 국가 의료서비스의 지속성을 위한 네트워크 구축 및 정책을 마련하는데 유효할 수 있다. 그러나 이와 같은 통계자료만으로는 우리나라 의료시설의 내

진성능에 대한 현황 파악 및 향상을 위한 방안 마련에 충분치 않으므로 추가적인 연구가 절실하다.



[그림 9] 우리나라 지역별 응급실 운영 병원 수, 병상 수 및 지진 지역계수

4.2 바람직한 연구 및 프로그램 리스트

앞서 행한 우리나라와 미국 간 내진설계기준 비교에서 살펴본 바와 같이 지역계수 및 지반상태, 중요도계수 중간값, 캘리포니아 병원 건물을 위하여 허용되는 구조시스템의 보다 엄격한 제한 등 몇 가지 요소를 제외하고서는 내진설계기준 자체가 서로 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 따라서 우리나라 의료시설의 내진성능 향상을 위한 방안을 내진설계기준의 개선을 통하여 찾는 것은 한계가 있다고 판단되며, 오히려 캘리포니아 주 병원 내진성능 향상 프로그램을 수행하며 터득한 OSHPD의 경험으로부터 유효한 방안을 마련할 수 있을 것으로 기대한다. 우리나라 의료시설의 내진성능 향상을 위하여 수행하여야 할 연구 및 시행하여야 할 프로그램을 정리하면 다음과 같다.

(1) 우리나라 의료시설의 내진성능 현황 파악 및 데이터베이스 구축

내진성능 향상을 위한 방안 마련은 현황 파악으로부터 시작하는 것이 마땅하고 바람직하다. 이를 위하여 각 병원에 대하여 위치, 주변 접근로 상황, 지반상태, 건물 별 기능, 시공연도 및 적용 설계기준, 구조시스템, 재료, 상세, 비구조재 리스트 및 접합상세, 의료장비 리스트 및 설치 현황 등 내진성능 평가에 필요한 모든 정보가 정확하게 조사되고, 서로 유기적인 관리가 가능하도록 일목요연하게 정리되어 국가 데이터베이스 화 되어야 한다. 캘리포니아의 경우 1982년 캘리포니아 남부 지역으로부터 시작하여 1991년까지 주내 총 490개 병원에 대한 내진성능 현황파악 작업이 이루어졌으며(ATC 1991a, 1991b), 이를 바탕으로 효과적

인 내진성능 향상 프로그램을 진행하고 있다. 물론 병원별 내진성능 현황 파악을 위한 자료는 병원 운영에 영향을 줄 수 있는 민감한 사안인 동시에 비상시 의료진과 환자 및 지역사회 보호 차원에서 내진성능 향상을 위하여 공개되어야 할 정보이기 때문에 병원 명을 익명으로 처리하는 등 운용에 주의가 필요하다.

(2) 국가주도 다학제간 연구조직

우리나라 의료시설 내진성능 향상 방안을 마련하려 할 때 가장 먼저 부딪히는 문제는 자료수집에서부터이다. 보건복지부(2011) 및 대한병원협회(2011)에서 발간한 통계자료 말고는 내진성능을 논할만한 문서화된 자료의 존재여부가 불투명할 뿐만 아니라 필요한 자료를 만들고자 하더라도 연구자 개인이 수행할 수 있는 활동에는 한계가 있기 때문이다. 또한 의료시설 내진성능 평가 및 향상을 위한 연구는 건축계, 의료계, 의료장비산업계 및 관공서 등이 참여하여야 하는 다학제간 연구가 필요한 종합예술과 같은 분야이기에 학문의 발전뿐만 아니라 의료 관련 산업의 발달의 차원에서 추진되어야 할 국가 주도형 연구가 되기에 충분하다.

(3) 의료시설 내진성능 관리 이력제도

의료시설의 내진성능 평가 및 관리는 일회성으로 끝날 성질의 것이 아니다. 한 의료시설이 어떤 시점을 기준으로 한 내진설계기준에 의하여 설계 및 시공되었다고 하더라도, 과학기술의 발달과 함께 새로운 치료법 및 장비가 도입될 수밖에 없고, 건축물의 지진에 대한 특성의 연구가 발달함에 따라 내진설계기준 또한 지속적으로 강화될 수밖에 없는 현실을 감안하면, 병원 건립 이후에도 지속적 관리와 내진보강 프로그램이 이어져야 하기 때문이다. 따라서 캘리포니아 주 OSHPD의 경험과 유사한, 의료시설의 현재 내진성능 수준을 파악하고 지진에 대한 안전을 보장할 수 있는 바람직한 성능목표를 설정하여 구체적인 일정을 정하여 추진해 나가는 제도적 장치의 마련이 필요하다.

(4) 지진 대비 의료시설 비상 네트워크 구축에 대한 연구

지진을 경험한 많은 나라의 경우를 보면 지진 후 지역 의료기관에는 수용한계를 크게 넘는 환자가 물리게 되고, 이는 결과적으로 사회적 불안으로 이어지게 된다. 이에 국가적 지역별 의료시설 비상 네트워크를 구축하여 평상시 의료진들을 훈련하고, 비상시 환자를 분산 수용할 수 있는 네트워크 및 환자 이송경로를 확보할 수 있는 연구가 필요하다.

(5) 의료시설 관련 정부 부처 업무 일원화

병원 건물 신축 및 증개축은 국토해양부 및 지방자치단

체에서 관장하고, 병원운영에 대한 면허 등의 발급은 보건복지부 소관으로 운영되는 현재와 같은 정부 부처 체계에서는 의료시설 내진성능 향상 프로그램을 마련하기가 힘들기도 하거니와 합리적인 운영과 효율적인 성과를 기대하기 어려운 것이 현실이다. 나아가 지진과 같은 유사시 국가적으로 효율적이고 실질적인 비상 네트워크를 구성하기도 가동하기도 쉽지 않다. 이를 해결하기 위해서는 병원의 신축, 증개축, 면허 발급 및 취소 등을 모은, 캘리포니아 OSHPD와 같은, “One-Stop Shopping” 개념의 제도적 개선이 필요하다.

5. 결론

지진과 같은 비상시 의료시설은 환자들을 수용하고 진료하는 평상시의 기능에 더하여 지진으로 인하여 다친 환자들을 추가로 수용할 수 있는 기능을 갖출 것이 요구된다. 이를 위하여 병원 건물은 지진에 대하여 안전하여야 할 뿐만 아니라 그 안에 설치된 각종 비구조재 및 의료장비가 정상적으로 작동하여야 하는 조건이 선행되어야 한다. 의료시설에 요구되는 이러한 비상시 기능을 위하여 우리나라 병원의 내진성능 향상 프로그램이 필요하지만, 이에 대한 연구는 거의 전무하다시피 한 것이 현실이다. 내진설계기준, 캘리포니아 주 의료시설 내진보강 프로그램, 미국-이탈리아 공동연구를 참고하여 우리나라 의료시설 내진성능 향상을 위한 연구 및 프로그램을 아래와 같이 제안하였다.

- (1) 우리나라 의료시설의 내진성능 현황 파악 및 데이터베이스 구축
- (2) 국가주도 다학제간 연구조직
- (3) 의료시설 내진성능 관리 이력제도
- (4) 지진 대비 의료시설 비상 네트워크 구축에 대한 연구
- (5) 의료시설 관련 정부 부처 업무 일원화

감사의 글

이 연구는 보건복지부의 2011년 “종합병원, 병원, 요양병원 내진설계기준 연구”를 위한 지원에 의하여 수행되었음을 밝히며, 지원에 감사드립니다. 아울러 우리나라 지진 지역계수별 의료시설 분포 현황을 작성해준 삼성테크윈 김남욱씨에게 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설부 (1988), 내진설계 지침서 작성에 관한 연구, 1987.12.
2. 국토해양부 (2010), <http://www.mltm.go.kr>, 국토해양뉴스 보도자료, 2010.2.1.
3. 대한건축학회 (2000), 건축물 하중기준 및 해설, 태림문화사.
4. 대한건축학회 (2009), 국토해양부 고시 건축구조기준 및 해설, KBC 2009, 기문당.

5. 대한건축학회 (2005), 건설교통부 고시 건축구조설계기준, KBC 2005, 기문당.
6. 대한병원협회 (2011), 2011 전국병원명부.
7. 보건복지부 (1988), <http://stat.mw.go.kr>, 1988 보건복지통계연보.
8. 보건복지부 (2007), <http://mw.go.kr>, 2007 보건복지통계연보.
9. 보건복지부 (2011), <http://mw.go.kr>, 2011 보건복지통계연보.
10. ASCE 7-05 (2005), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers.
11. ATC 23A (1991), General Acute Care Hospital Earthquake Survivability Inventory for California, Part A: Survey Description, Summary of Results, Data Analysis and Interpretation, Applied Technology Council.
12. ATC 23B (1991), General Acute Care Hospital Earthquake Survivability Inventory for California, Part B: Raw Data, Applied Technology Council.
13. ATC 51 (2000), U.S.-Italy collaborative recommendations for improving the seismic safety of hospitals in Italy, Applied Technology Council.
14. ATC 51-1 (2002), Recommended U.S.-Italy collaborative procedures for earthquake emergency response planning for hospitals in Italy, Applied Technology Council.
15. ATC 51-2 (2003), Recommended U.S.-Italy collaborative guidelines for bracing and anchoring nonstructural components in Italian hospitals, Applied Technology Council.
16. CBC (2010a), California Building Code: California Code of Regulations, Title 24, Part 1, California Building Standards Commission.
17. CBC (2010b), California Building Code: California Code of Regulations, Title 24, Part 2, California Building Standards Commission.
18. FEMA 577 (2007), Design Guide for Improving Hospital Safety in Earthquakes, Floods and High Winds, Federal Emergency Management Agency.
19. HAZUS-MH MR1 (2003), Advanced Engineering Building Module, Technical and User's Manual, Department of Homeland Security, FEMA Mitigation Division.
20. IBC (2000), International Building Code, International Code Council.
21. IBC (2006), International Building Code, International Code Council.
22. OSHPD (1995), The Northridge Earthquake: A report to the hospital building safety board on the performance of hospitals in the Northridge earthquake of January 17, 1994, Office of Statewide Health Planning and Development, Sacramento, California.
23. OSHPD (2010), Update on Special Seismic Certification as of April 28, Office of Statewide Health Planning and Development, Sacramento, California.
24. Tokas, C.V. and Schaefer, K. (1999a), "The Seismic Safety Program for Hospital Buildings in California, Part 1: Seismic Performance Requirements for New Hospital Buildings", Workshop on Seismic Design and Retrofitting of Hospitals in Seismic Areas, Florence, Italy, October 21-22, 1999.
25. Tokas, C.V. and Schaefer, K. (1999b), "The Seismic Safety Program for Hospital Buildings in California, Part 2: The Seismic Retrofit Program for Existing California Hospitals", Workshop on Seismic Design and Retrofitting of Hospitals in Seismic Areas, Florence, Italy, October 21-22, 1999.

접수 : 2012년 6월 28일

1차 심사 완료 : 2012년 7월 15일

게재확정일자 : 2012년 7월 15일

3인 익명 심사 필

www.kci.go.kr