

벽식공동주택의 수직증축 리모델링을 위한 효율적 구조시스템 및 설계기법

Effective Seismic Structural System for Vertical Extension Remodeling of Apartment



오 상 훈^{1)*}

Oh, Sang Hoon

1. 서론

최근 공동주택의 수직증축이 허용되면서 리모델링에 대한 관심이 크게 높아지고 있으나, 한편으로는 수직증축에 따른 안전성 확보문제에 대한 우려가 제기되고 있다. 특히 리모델링 대상 공동주택의 대부분은 내진설계가 이루어지지 않은 건물임과 동시에 증축 및 평면의 변경에 가장 까다로운 벽식구조로 이루어져 구조안전성 혹은 내진안전성 확보에 대한 우려를 완전히 해소하지 못하고 있는 실정이다. 수직증축을 동반한 벽식구조의 내진안전성을 확보하기 위하여 해결해야할 문제점은 크게 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 1) 내진설계가 되지 않은 공동주택에서 수직증축에 의한 하중증가 및 내진설계 기준 적용에 만족할 수 있는 경제적인 기초보강은 가능한가?
- 2) 세대간벽 등의 단면을 증타하는 경우 증타에 의한 면적감소를 세대별로 공평하게 하기 위해 벽의 양쪽에서 증타한다면 경제성 및 시공성 확보가 가능한가?
- 3) 벽이 거의 없는 장변방향으로의 내진보강 방법 및 설계는 가능한가? 특히 조망을 해치지 않는 적절한 내진보강은 가능한가?
- 4) 이주와 철거를 포함하여 리모델링 공사의 전체 공기를

를 2년 이내로 할 수 있는가?

1)의 경우, 리모델링 대상 건축물의 대부분은 내진설계가 이루어지지 않은 상태이고 현재의 내진설계기준을 적용하면 하중증가 없이 현재의 중량만으로도 기초내력이 부족한 경우가 대부분이다. 수직증축 및 내진보강에 의한 하중증가를 고려하면 기초내력이 상당히 부족한 경우가 많이 발생한다. 그러나 벽식공동주택은 층고가 대부분 2.6m 정도로 층고가 낮기 때문에 마이크로파일 등을 사용하더라도 기초보강을 위한 시공이 매우 어렵고, 기초보강 공사의 따른 공사비 상승과 공기가 지연될 수 있다. 따라서 기초보강을 최소화 할 수 있는 구조시스템을 제시하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다.

2)의 경우 기존 공법에 의해 벽식구조의 내력을 향상시키기 위해서는 벽두께를 크게 하여야 하는 경우가 발생하게 된다. 벽두께를 증대시키는 경우, 벽두께 증가에 의한 유효면적의 감소를 세대별로 공평하게 하기 위해서는 벽의 양쪽으로 두께를 증대시켜야 하므로 공사비가 증가할 수 있고 공기도 지연된다. 또한 증설된 벽의 일체성 확보를 위해서는 슬래브 등에 증설되는 벽의 철근 등을 정착시켜야 하며, 이는 시공이 매우 어려울 뿐만 아니라 공기지연의 중요한 요소가 된다. 따라서 벽의 단면증설 등과 같은 기존 보강공법을 탈피한 새로운 형태의 내진보강 시스템이 제시될 필요가 있다.

1) 부산대학교 공과대학 건축공학과

* E-mail : osh@pusan.ac.kr

또한 비내진상세를 가지는 리모델링 대상 벽식 공동주택의 경우 3)과 같이 단변방향으로는 세대간벽 등이 배치되어 내진성능이 크게 떨어지는 경우는 적으나, 장변방향으로는 조망권 확보를 위해 벽이 거의 없는 경우가 많다. 내진보강 시 장변방향으로는 조망권 및 채광확보를 위해 브레이스 등과 같은 구조요소의 배치를 꺼려하므로 이에 대한 내진보강설계가 매우 까다롭게 된다. 건축계획의 편의성을 고려한 장변방향으로의 내진보강시스템은 반드시 제시되어야 할 중요한 요소이다.

마지막으로 4)에서는 내용은 리모델링을 활성화시키기 위해 매우 중요한 사업성과 주민의 편리성을 고려할 때 전체 사업기간을 2년 이내로 단축시켜야 할 필요가 있음을 언급하였다. 우리나라의 경우 전세계약이 2년 단위로 이루어지기 때문에 리모델링 사업기간이 2년이 초과하면 이주 비용을 포함하여 많은 부가 비용과 노력이 필요하게 된다.

이상과 같이 리모델링 사업 혹은 공사는 지금까지의 재건축과 재개발에서는 고려하지 않았던 문제점들을 해결하기 위한 기술개발이 필연적이며 기존 구조 설계방식의 틀에서 벗어난 창의적인 노력이 필요하다.

이에 본 고에서는 비용 절감과 공기단축을 위해 기초보강 및 기존 구조체의 내진보강을 최소화하면서 내진성능을 확보할 수 있는 벽식 공동주택을 수직증축할 수 있는 구조시스템을 제시하고 그 가능성을 해석적으로 검증하고자 한다.

2. 이중 분리형 골조시스템의 원리 및 성능

건축물의 구조설계에서 수평강성이 큰 부재와 작은 부재를 의도적으로 혼합하여 사용하여 수평강성이 작은 요소는 탄성에 머물게 하고 수평강성이 큰 부재가 소성변형을 하여 지진에너지를 흡수하게 하는 유강혼합구조시스템이 Akiyama에 의해 제시되어 있다. 이 구조시스템을 이용하면 기존의 내진구조설계에 비해 내진성능이 매우 효과적으로 향상될 수 있음이 검증되어 있으며, 현실적으로도 제진구조, 면진구조시스템에도 이 원리가 적용되고 있다. 본 연구에서는 이러한 원리를 바탕으로 골조 시스템을 이중으로 분리하고 골조의 강성을 서로 다르게 하여 내진성능을 확보할 수 있는 이중 분리형 골조시스템을 제안하고 그 개념을 Fig. 1에 제시하였다.

이러한 이중 분리형 골조시스템의 특징은 다음과 같다.

- 1) 내진구조(외곽구조)와 내부구조부분의 2개의 독립된 구조체로 구성되며, 두 구조체 사이에는 댐퍼로

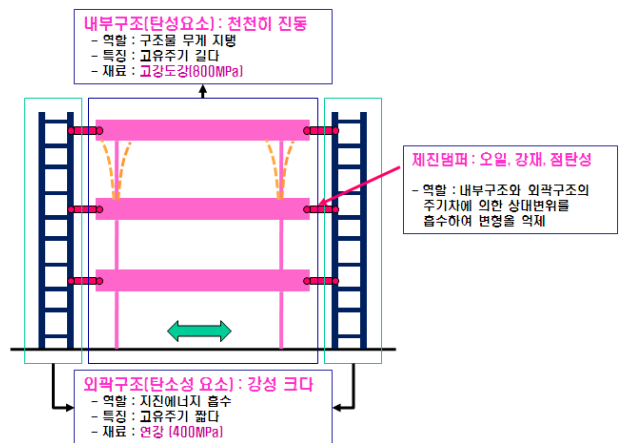


Fig. 1 이중 분리형 골조 제진구조 시스템의 개념

연결된다. 내부구조는 수평강성을 작게 하고 연직하중을 대부분 부담시켜 장주기를 가지게 설계하며, 외곽구조는 수평강성을 크게 설계하고 무게를 작게 하여 단주기로 설계한다.

- 2) 지진이 발생한 경우, 장주기로 설계된 내부구조는 응답가속도가 작고 대변형이 발생하는 반면 외곽구조는 응답가속도가 크고 변형이 작게 되어 두 구조체 사이에는 상대 응답변위가 발생한다.
- 3) 두 구조체 사이에 발생하는 상대 응답변위 및 진동은 댐퍼에 의해 제어되며, 지진에너지에 의한 진동에너지는 댐퍼에서 집중적으로 흡수된다.
- 4) 댐퍼의 진동제어 효과 때문에 내부구조는 탄성에 머물 수 있도록 하는 것이 가능하여 손상을 방지할 수 있다. 따라서 장주기를 가지는 벽식구조의 장변방향을 이중 분리형 골조시스템의 내부구조로 이용하는 경우 기존 골조에 대한 특별한 내진보강을 수행하지 않더라도 건물의 내진성능을 확보할 수 있고 지진에 의한 구조체의 손상도 방지할 수 있다.

Fig. 1의 구조시스템에서 내부구조는 무게를 지지하도록 하여 무거운 구조가 됨과 동시에 휨강성을 작게 하여 고유주기가 길게 설계한다. 무게를 지지하기 위한 내력을 발휘하면서 휨강성을 작게 하기 위해서는 작은 단면에 큰 내력을 발휘할 수 있어야 한다.

또한 외곽기둥은 휨강성을 크게 하고 무게를 되도록 지지하지 않도록 하여 고유주기를 짧게 설계한다. 따라서 강성을 크게 하기 위해서는 일반구조용 강재를 사용하는 것이 바람직하다. 이렇게 내부구조와 외곽구조의 강성을 다

르게 설계하면 지진에 의해 내부구조는 천천히 큰 진폭으로 진동하게 되고, 외곽구조는 작은 진폭으로 빠르게 진동하게 된다. 따라서 내부구조와 외곽구조 사이에는 상대변위가 발생하게 되나, 이 상대변위에 의한 진동에너지를 제진댐퍼가 흡수하게 설계하면 된다. 제진댐퍼는 점성, 점탄성, 강제댐퍼 등을 사용할 수 있으며, 이러한 구조로 설계하는 경우 유요소(탄성요소)에 해당하는 내부구조는 손상을 발생시키지 않고 탄성에 머물 수 있도록 손상을 제어할 수 있다.

3. 이중분리형 골조형식에 의한 수직증축시스템의 개념 및 설계 예

수직으로 1개 층을 증축하고, 기존 공동주택의 발코니와 공용공간인 복도를 내부공간으로 사용하고, 엘리베이터와 공용설비를 증축하여 제1층에 거주하는 세대를 상부층으로 이전하여 필로티화 함으로써 1층을 공용시설로 사용하는 등의 수직증축이 필요한 구조의 설계기법을 제안하고자 한다.

또한 단지 차원에서 제안할 수 있는 주동차원의 리모델링과 더불어 부족한 주차장 및 공용시설 확보, 외부조경의 신축수준으로 개수하는 것으로 가정하였다.

이러한 경우 상부1개층 증축으로 인한 중량의 증가와 수평확장으로 인한 중량의 증가는 내진설계를 위한 지진하중 산정 시 부담으로 작용한다. 이것은 기존골조의 기조를 보강해야하는 문제와 더불어 강화된 내진설계를 만족시켜야 하므로 종래의 방법인 골조를 보강하는 방법으로 리모델링하는 것은 유효공간의 축소와 공사기간의 증가, 공사비의 증가, 시공성 등의 문제로 어렵게 될 것이다.

이 문제를 해결하기 위해서 주동의 전후와 좌우로 수평 증축되는 부분에서 수직하중과 지진외력을 받을 수 있게 구조계획을 하고 지진시에 기존골조가 손상을 입지 않게 기존골조와 신설골조 사이에 에너지흡수장치인 제진댐퍼를 활용하면 이러한 문제를 해결 할 수 있게 된다.

따라서 본고에서는 수직 수평증축용 리모델링에 있어서 가장 중요한 것은 기존구조물의 구조성능을 파악하여, 효율적인 리모델링을 통한 구조성능 향상을 위하여 기존구조물은 가능한 보강을 하지 않고 신설 구조체와 탄소성 강제댐퍼를 설치하여 지진에너지를 흡수하는 시스템을 제안하고자 한다. 그리고 수직 수평증축에 의한 내진설계에 있어서 가장 중요한 문제는 지진에 의한 구조물의 하중증대 효과와 그에 대한 구조물의 저항능력을 평가하는 것이다.

이 구조형식은 신설골조와 기존골조사이에 내력이 크고, 항복변위가 작은 댐퍼를 부착함으로써 지진에 의한 입력에너지의 대부분을 소성변형능력에 해당하는 에너지흡수요소가 흡수하게 된다.

본 고에서는 수직 수평증축용 평면을 벽식공동주택의 대표적인 평면을 가지는 개포00 아파트의 도면을 참조하여 250% 용적률을 적용하여 수직 수평증축을 위한 평면스터디를 하였으며 평면도는 Fig. 2와 같다. 측면부의 안쪽에 브레이스를 배치하고, 수평강성을 향상시켜 층간 변위 제한치를 만족시키기 위해 CFT 기둥과 브레이스를 배치하였다. 단면도는 Fig. 3과 같으며, 개념 모식도는 Fig. 4와 같다.

이상의 구조시스템의 지진응답 성능을 검증하기 위한 해석모델은 Fig. 5 및 Fig. 6과 같다.

4. 기존 공동주택의 동적 지진응답 해석

4.1 X 방향 지진응답 해석결과 (감쇠 3%적용)

감쇠의 영향으로 가속도응답이 다소 작아지는 경향을 나

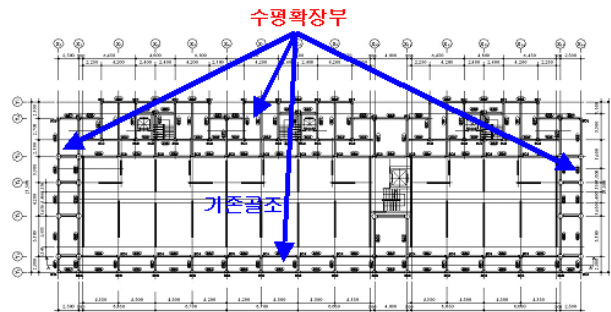


Fig. 2 설계대상 공동주택의 증축평면도

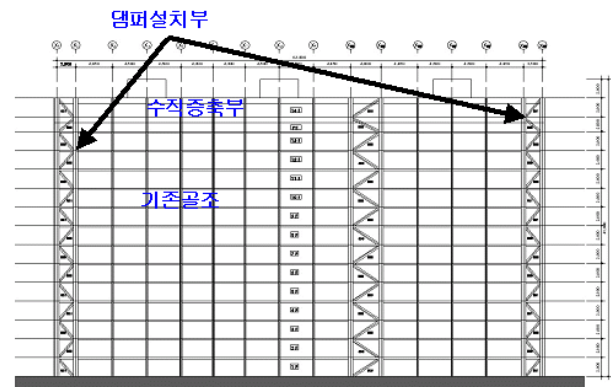


Fig. 3 단면도

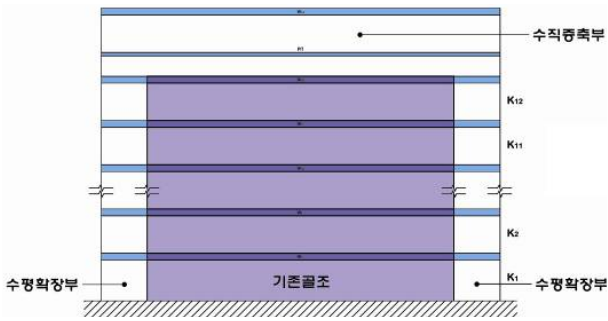


Fig. 4 수평, 수직중축 구조시스템 개념도

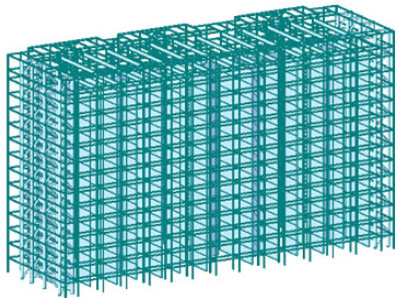


Fig. 5 해석모델

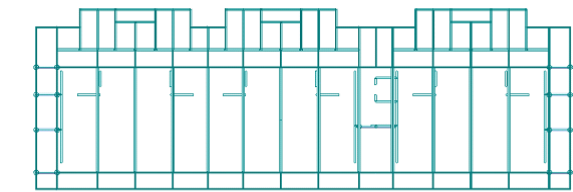


Fig. 6 해석모델(평면)

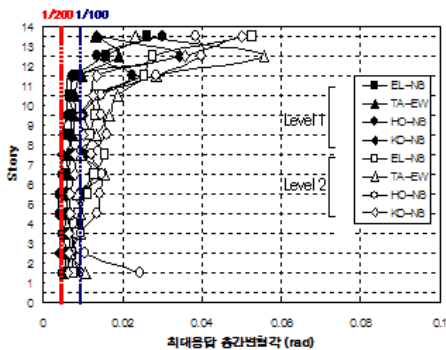


Fig. 7 기존골조의 장변방향 지진응답 (감쇠적용)

타내고 있으나, 감쇠가 작기 때문에 감쇠가 없을 때에 비해 감소된 양은 매우 작았다. 감쇠를 적용하지 않은 경우와 마찬가지로 최대응답 층간변위는 Level 1에서 중층부

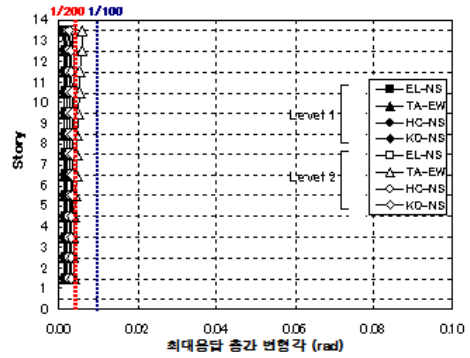


Fig. 8 기존골조의 단변방향 지진응답 (감쇠적용)

이상에서 1/200을 상회하였으며, 현재의 내진설계 기준은 만족시키지 못하고 있으며, 장변방향으로의 내진보강을 고려해야할 것으로 판단된다.

4.2 Y 방향 지진응답 해석결과 (감쇠 3%적용)

감쇠의 영향으로 가속도응답이 작아짐을 알 수 있다. Level-1의 경우 최대응답 층간변위는 1/200 이내임을 알 수 있다. Level-2의 경우에도 거의 1/200이내임을 알 수 있다. 따라서 세대간 벽체 등 벽이 많이 설치되어 있는 Y 방향(단변방향)으로는 내진성능을 어느 정도 확보하고 있음을 알 수 있다.

5. 이중분리형 골조 수직중축 구조시스템의 동적 지진응답 해석

5.1 수직 수평중축의 해석모델

수직 수평중축골조의 지진응답해석모델은 Fig. 9를 Fig. 10과 같이 모델링하여 전단질점계로 치환하여 지진응답해석을 실시하였다.

중축부분의 골조와 기존골조 사이에 설치하는 강재댐퍼의 항복변위를 1mm, 댐퍼의 내력을 기존골조의 40%로 한 경우의 지진응답 특성을 Fig. 11에 나타내었다.

각 층의 층간변형각은 설계기준을 만족하고 있으며, 어떤 특정층에 변형이 집중되는 현상이 나타나지 않고 매우 안정된 형태를 나타내고 있음을 알 수 있다.

또한 댐퍼의 에너지 흡수효과 및 기존골조의 소성화 정도를 검증할 필요가 있다. 이를 위하여 위의 해석모델에서의 댐퍼의 소성율과 기존골조의 소성율을 Fig. 12에 나타내었다. 그림에서 소성율은 1이하에서는 탄성상태 즉 손상

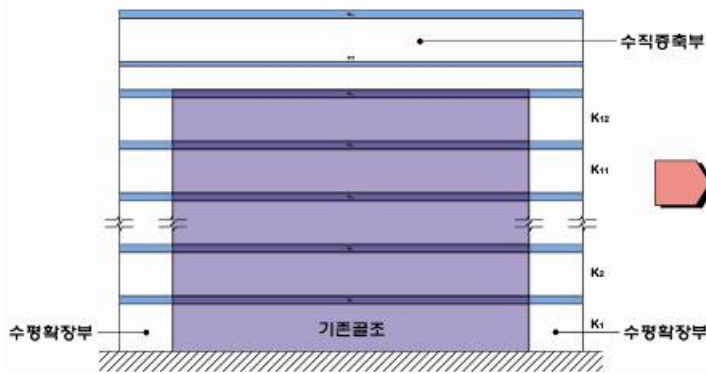


Fig. 9 수직 수평증축 개념도

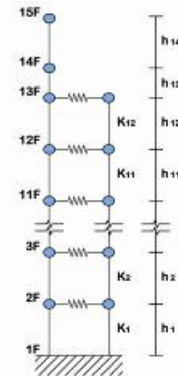


Fig. 10 전단집점계모델

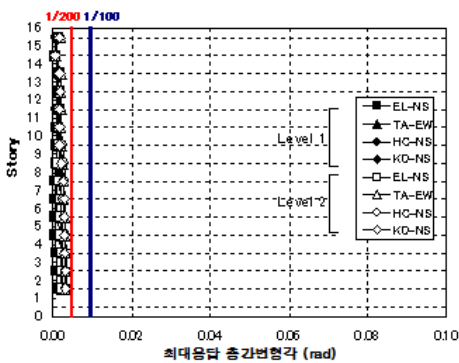


Fig. 11 이중분리형골조 수직증축 시스템의 지진응답

이 발생하지 않은 상태를 나타내고, 소성율이 1 이상에서는 그 값이 클수록 손상이 크게 나타남을 의미한다. 댐퍼의 경우는 각 층에서 소성율이 평균 5이상의 값을 나타내어 손상이 발생하고 있으나, 기존골조에서는 1이하의 값을 나타내어 손상이 발생하지 않고 있음을 알 수 있다.

이는 이중분리형골조 형식 구조시스템을 채용하여 수직증축할 경우 기존골조는 손상이 발생하지 않기 때문에 특별한 내진보강이 필요 없고, 만약 지진이 발생하더라도 손상이 집중된 댐퍼만 교체하면 건물을 재사용 가능함을 의미한다.

따라서 공동주택의 수직증축 시스템으로 이중분리형 골조시스템을 이용하면 기존건물에 대한 내진보강을 최소화할 수 있을 뿐만 아니라 기존건물의 기초 보강을 대폭 완화시켜 공기를 단축과 공사비 절감효과를 기대할 수 있다. 그리고 기존의 내진보강 시스템에 비해 장변방향으로의 내진성능을 더욱 향상시켜 구조안전성을 확보한 벽식 공동주택에 대한 수직증축 리모델링이 가능할 것으로 판단된다.

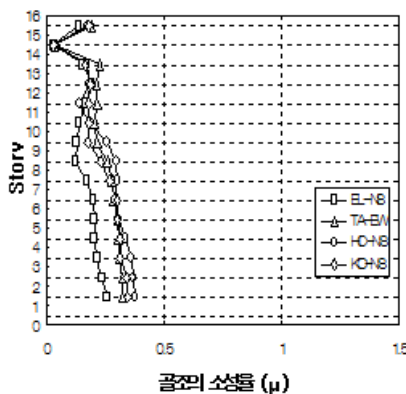
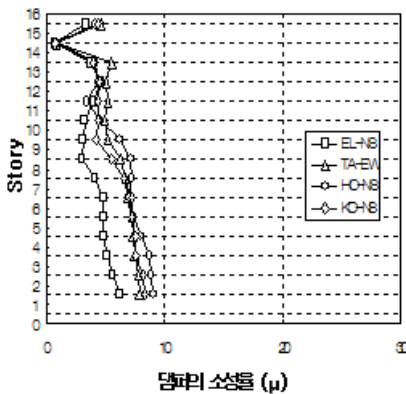


Fig. 12 댐퍼와 골조의 소성율

참고문헌

1. 대한건축학회, 건축구조기준 및 해석, 대한건축학회, 2009.
2. 대한건축학회, 제진구조설계지침 및 예제집, 대한건축학회, 7-23, 2010.
3. 소방방재청, 기존 저층 건축물 내진성능 확보기술 개발, 소방방재청, 269-340, 2011.
4. 오상훈, 김영주, "슬릿플레이트 댐퍼를 가진 기둥-보 접합부 이력거동", 대한건축학회논문집, 제21권, 제12호, 101-108, 2005.
5. 오상훈, 유홍식, 문태섭, "강재를 이용한 조립 및 접착이 가능한 내진보강에 관한 연구", 대한건축학회논문집, 제21권, 제11호, 51-58, 2005.
6. 吳相勳, 柔剛混合形式接合部から成るエネルギー分散型多層骨組の耐震設計, 博士學位論文, 東京大學, 1997
7. 日本建築防災協會, 既存鐵筋コンクリート造建築物の耐震診断基

- 準・同解説, 日本建築防災協會, 2001.
8. Akiyama H. (저), 오상훈 (역), “에너지평형법에 의한 건축물의 내진설계”, 구미서관, 2002.1. Miyamoto, L'aquila Italy Earthquake Field Investigation Report, Global Risk Miyamoto, 2009.
9. E. K. Vahidi, M. M. Malekabadi, “Conceptual Investigation of short-columns and masonry infill frames effect in the earthquakes”, World Academy of Science Engineering and Technology, Vol. 59, 119-124, 2009.
10. Kang Ninig Li, CANNY manual, 2009.

담당 편집위원: 오상훈
(부산대학교 건축공학과 부교수)
osh@pusan.ac.kr