

내력벽으로 구성된 구조물의 발파해체를 위한 사전취약화 해석

최 훈¹⁾, 홍순중²⁾, 문병화³⁾, 김효진⁴⁾, 윤순중^{5)*}

Pre-weakening Analysis for the Explosive Demolition on the Structural System Consisted of Load Bearing Wall

Hoon Choi, Soon-Joong Hong, Byung-Hwa Mun, Hyo-Jin Kim and Soon-Jong Yoon

Abstract In this paper, we present the result of an analytical investigation concerning the demolition range for the pre-weakening of load-bearing wall in explosive demolition. Pre-weakening of load-bearing wall is usually conducted based on field experience because reliable specifications or guidelines for the design of pre-weakening have not yet been established in Korea. This study is one of the efforts to develop such a reliable specification or guideline for the pre-weakening process. Hence, the focus of the study is on the estimation of pre-weakening range of load-bearing wall. For the purpose, a finite element analysis (FE analysis) was conducted, and a pre-weakening range of load-bearing wall was suggested based on the analysis result.

Key words Explosive demolition, Pre-weakening, Load bearing wall, Finite element analysis

초 록 사전취약화는 발파해체공법의 한 과정으로 구조물의 일부를 해체해 구조물의 붕괴방향 유도 혹은 해체장비의 이동경로확보 등을 목적으로 실시한다. 하지만, 현재 국내에는 사전취약화와 관련된 전문시방서 등의 기준이 정비되어 있지 않은 상태이다. 또한, 구조물의 설계도서가 없는 경우가 많고 무분별한 개보수 및 구조변경 등으로 현재 구조물의 상황과 도면이 불일치하는 경우 등 여러 제약요인들로 인해 사전취약화가 정확한 구조해석에 근거하기 보다는 경험에 의해 진행되는 경우가 많다. 이 연구는 내력벽의 사전취약화와 관련된 것으로 내력벽식 구조물의 발파해체를 위한 시공계획의 일부를 소개하고 유한요소해석법을 이용하여 국내에 건설되고 있는 한 아파트 구조물을 대상으로 내력벽의 사전취약화 가능범위를 조사하였으며, 사전취약화 계획시 중요 고려사항에 대해 언급하였다.

핵심어 발파해체, 사전취약화, 내력벽, 유한요소법

1. 서 론

발파해체공법은 경우 폭약을 이용해 구조물을 순간적으로 해체할 수 있는 방법으로 많은 대규모의 구조

물을 짧은 시간에 해체해야 할 경우 혹은 화재 등이 발생하여 구조물의 안전성을 충분히 확보하기 어려워 시급히 해체가 필요한 경우 등에 효율적으로 사용될 수 있는 해체공법이다. 발파해체공법의 종류 중 전도공법은 구조물 하부 일부만을 발파하여 구조물 전체를 전도시키는 공법으로 구조물의 폭과 비교해 높이가 높은 세장한 구조물의 발파에 적용하기에 유용한 공법이다.

이 연구에서 고려하고 있는 내력벽식 구조물의 경우 시대적 요구에 따라 1980년대 초반부터 국내의 주거용 아파트를 중심으로 널리 보급된 구조형식이다. 1980년 초반에 건설된 내력벽식 구조물의 경우 대부

¹⁾ 홍익대학교 대학원 박사과정

²⁾ 두산건설 부장

³⁾ 홍익대학교 대학원 석사과정

⁴⁾ 한국토지주택공사 주택도시연구원 연구위원

⁵⁾ 홍익대학교 토목공학과 교수

* 교신저자 : sjyoon@hongik.ac.kr

접수일 : 2010년 12월 16일

심사 완료일 : 2010년 12월 24일

게재 승인일 : 2010년 12월 28일

분 25년 이상 노후화된 구조물로서 해체 또는 리모델링이 필요할 것으로 예상되며, 아파트 구조물일 경우 구조물의 형태가 폭에 비해 높이가 높은 세장한 형태이므로 전도공법을 적용할 경우 효율적일 것으로 생각된다.

발파해체가 해체공법으로 결정된 후 발파대상 구조물의 형태, 주변여건 등을 고려해 발파세부계획을 수립한다. 수립되는 세부계획 중 사전취약화 작업이 포함된다. 구조물의 일부를 미리 부분해체하여 구조물의 붕괴방향을 유도하거나 해체장비의 이동경로를 확보 혹은 해체공사의 효율을 증가시키기 위해서 실시하는 일종의 부분해체공사로 발파해체공사의 효율적 측면에서 상당히 중요하다. 하지만, 현재 국내에는 사전취약화와 관련된 전문시방서 등의 기준이 정비되어 있지 않은 상태이다. 또한, 발파해체대상 구조물의 설계도서가 없는 경우가 많고, 개보수 및 구조변경 등으로 현재 구조물의 상황과 도면이 불일치하는 경우 등 여러 제약요인들로 인해 사전취약화가 정확한 구조해석에 근거하기 보다는 경험에 의해 진행되는 경우가 많다(최훈 외, 2010).

이 연구는 내력벽식 구조물을 발파해체할 경우의 사전취약화 구조해석과 관련된 내용으로 발파해체 공법 중 전도공법을 적용하여 내력벽식 구조물을 해체할 경우를 대상으로 각각의 시공계획단계를 상세히 설명하였다. 또한, 유한요소해석법을 이용하여 국내에 건설되고 있는 한 내력벽식 아파트의 사전취약화 가능범위를 예측하였고, 사전취약화 계획시 고려해야 할 중요 사항에 대해 언급하였다.

2. 전도공법을 고려한 내력벽식 구조물 사전취약화

2.1 사전취약화 시공계획

발파해체공법 중 전도공법을 적용하여 내력벽식 구조물을 해체할 경우 전도방향은 구조물 내부의 내력벽의 배치형태 및 크기, 발파대상 구조물 주변에 위치한 기존 구조물의 현황 등을 고려해 결정한다. 이러한 조건들을 고려해 내력벽식 구조물의 전도방향은 Fig. 1에서 보여주고 있는 바와 같이 계획될 수 있다. 계획된 전도방향을 고려해 내력벽의 사전취약화를 실시하는데 이때 내력벽의 사전취약화 작업은 사전취약화 도중 하중집중현상 등에 의해 구조물의 부분적인 단

면유실과 이로 인해 발생 가능한 의도하지 않는 붕괴를 방지하기 위해 Fig. 2(a)에서 보여주고 있는 바와 같이 내력벽의 중앙부만을 과도하게 사전취약화를 실시하는 것 보다 Fig. 2(b)에서 보여주고 있는 바와 같이 사전취약화 후 잔존하는 내력벽이 기동화 되어 상부하중을 분산하여 지지할 수 있도록 하는 것이 구조적으로 유리하다(최훈 외, 2008). 이 연구에서는 Fig. 1에서 음영으로 표시된 바와 같이 사전취약화 구간을 2구간으로 나누어 계획하였다.

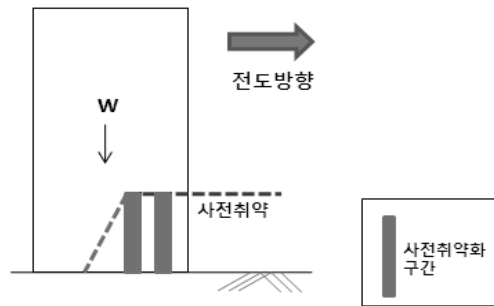
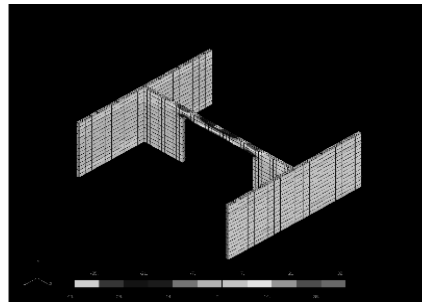
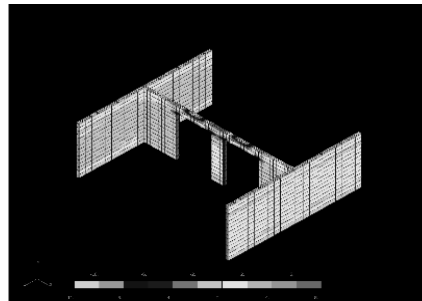


Fig. 1. Pre-weakening plan.



(a) Method 1



(b) Method 2

Fig. 2. Pre-weakening methods.

2.2 사전취약화 범위 계획

기존 내력벽의 성능파악

내력벽의 사전취약화를 위해서는 먼저 기존 내력벽의 구조적 성능을 파악해야 한다. 구조물의 설계도서가 보존되어 존재할 경우 해당 내력벽의 단면구성을 알 수 있기 때문에 국내 콘크리트 구조설계기준(이하 설계기준)을 참고하여 내력벽의 구조적 성능을 파악할 수 있다. 그러나, 설계도서가 유실되어 존재하지 않을 경우가 많고 이러한 경우에는 기존 내력벽의 배근상태 등을 구체적으로 알 수 없기 때문에 기존 내력벽의 구조적 성능을 파악하기란 상당히 어렵다(최훈 외, 2008). 이러한 경우, 식 (1)과 같은 경험식(콘크리트 구조설계기준, 2007)을 이용하면 기존 내력벽의 외부치수와 간단한 콘크리트 압축강도 조사만으로 기존 내력벽의 강도를 추정할 수 있다.

$$\phi P_{nw} = 0.55 \phi f_{ck} A_g \left[1 - \left[\frac{kl_c}{32h} \right]^2 \right] \quad (1)$$

P_{nw} : 벽체의 공칭 축방향하중강도

l_c : 지지점간의 수직거리(층고)(mm)

h : 벽체두께(mm)

A_g : 총 단면적(mm²)

f_{ck} : 콘크리트 설계기준 압축강도(MPa)

k : 유효길이 계수

ϕ : 강도감소 계수(0.65)

현장조사를 통한 내력벽 상부에 작용하는 하중의 크기 파악

기존 내력벽의 구조적 성능이 파악된 후, 내력벽 상부에 작용하는 하중을 조사하여야 한다. Fig. 3에서

보여주고 있는 바와 같이 사전취약화 전(Fig. 3(a))에 내력벽에 작용하는 하중(P)은 사전취약화 후(Fig. 3(b)) 잔존하는 벽체가 나누어 지지하게 된다. 이때, 내력벽의 사전취약화 가능범위는 식 (1)에 의해 추정된 내력벽의 강도와 사전취약화전 작용하는 하중(P)의 차($\phi P_{nw} - P$)(최훈 외, 2009)와 관계가 있기 때문에 현장조사를 실시하여 내력벽 상부 인접 슬래브 위에 재하되고 있는 활하중 등 실제 혹은 장차 계획 중인 하중(P)의 크기를 파악해야 한다. 이 연구에서는 현장조사를 통해 파악된 내력벽 상부에 작용하는 하중(P)을 $0.5\phi P_{nw} \sim 1.0\phi P_{nw}$ 으로 가정하였다.

구조해석

Fig. 3에서 보여주고 있는 바와 같이 사전취약화후에는 사전취약화전과 달리 내부에 자유단(Free)이 형성되어 내력벽의 경계조건이 변경된다. 또한 사전취약화 방법에 따라서 내력벽의 상하부의 경계조건이 변경될 수 있으므로 사전취약화 계획에 따른 구조변경 내역을 정확히 파악하여 사전취약설계에 반영하여야 한다.

현장조사를 통해 얻어진 구조물의 외부치수, 콘크리트 압축강도, 내력벽 상부에 재하되는 하중의 크기를 바탕으로 유한요소법을 사용하여 구조해석을 실시한 후 내력벽체에 발생하는 응력의 크기를 설계에서 제한하고자 하는 최대응력과 비교하여 사전취약화에 따른 내력벽의 구조안전성을 검토하여야 한다.

화재 등의 재해환경의 영향

내력벽식 구조물은 경우에 따라 화재 등의 각종 재해환경에 구조물이 노출될 수가 있으며, 이러한 경우 내력벽의 구조적 성능을 파악하기 위해서는 좀 더 세

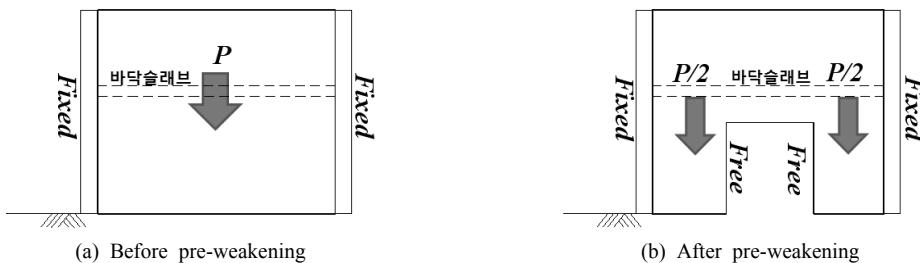


Fig. 3. Different boundary and loading conditions between before and after pre-weakening.

밀한 검토가 필요하다.

일반적으로 구조해석을 실시하기 위해서는 기본적으로 구조물을 구성하고 있는 재료의 역학적 성질이 필요하다. 재료의 역학적 성질 중 탄성계수의 경우 현행설계기준(콘크리트 구조설계기준, 2007)에서는 Pauw(1960)의 연구결과를 참고해 식 (2)와 같이 제시하고 있다. 그러나, 식 (2)의 경우 콘크리트의 단위중량이 1,450~2,500kgf/m³인 일반적인 콘크리트에 제한적으로 적용할 수 있기 때문에 재해환경에 노출된 구조물의 경우 식 (2)를 그대로 적용하기에는 다소 무리가 있다.

$$E_c = 0.077m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}} \quad (E_c = 8,500 \sqrt[3]{f_{cu}} \text{ when } m_c = 2,300\text{kgf/m}^3) \quad (2)$$

E_c : 콘크리트의 탄성계수(MPa)

m_c : 콘크리트의 단위중량(kgf/m³)

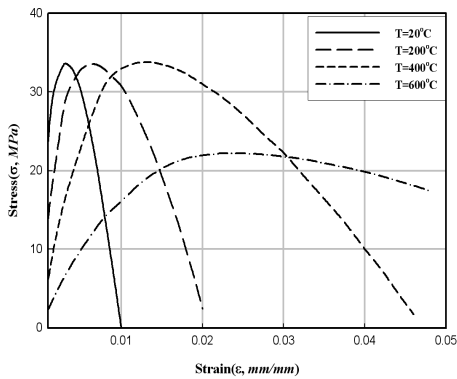


Fig. 4. Stress-strain relationship of concrete under various temperature conditions.

$$f_{cu} : f_{ck} + 8\text{MPa}$$

f_{ck} : 콘크리트설계기준압축강도(MPa)

이 연구에서는 재해환경 중 화재에 의한 영향을 고려하고자 기존의 연구자료를 활용 하였다. Lie 의 (1986)의 연구결과에 의하면 Fig. 4에서 보여주고 있는 바와 같이 온도가 400°C 이상으로 증가하게 되면 콘크리트의 강도가 감소하기 시작하고, 600°C에 이르면 평상시(20°C)의 콘크리트 강도와 비교해 약 34%가 감소한다는 것을 알 수 있으며, 탄성계수 또한 콘크리트의 온도가 400°C 이르면 평상시(20°C)와 비교해 1/3로 감소함을 알 수 있다. 또한, Fig. 5에서 보여주고 있는 바와 같이 철근의 온도가 200°C 이상 증가하게 되면 철근의 강성과 강도가 상당히 감소하게 되고 450°C 이상 증가하게 되면 항복강도와 극한강도가 큰 폭으로 감소함을 알 수 있다(민창식 외, 2005).

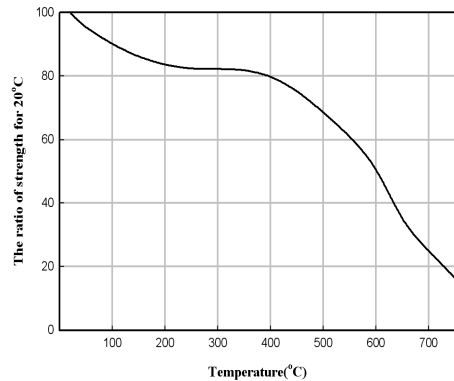


Fig. 5. Variation of yield stress of hot-rolled steel re-bar under various temperature conditions.

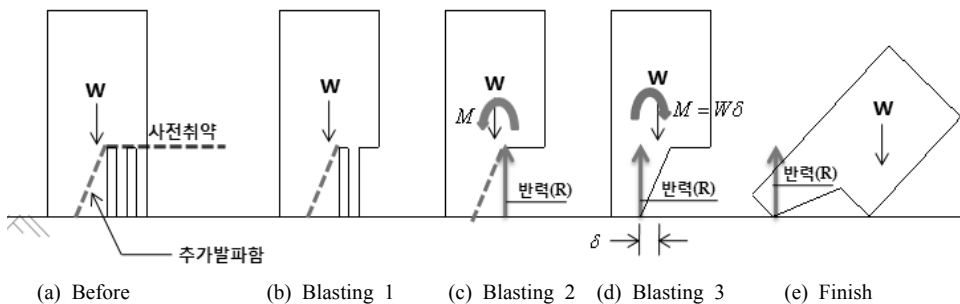


Fig. 6. Blasting Process.

구조물의 사전취약화 범위계획

1994년 쌍용양회 시멘트 사일로의 경우 발파 후 전도되지 못한 사례가 보고된 바 있으며, 해당자료(석철기 외, 1995)를 검토한 결과 발파공법에서 전도모멘트가 상당히 중요함을 알 수 있었다. Fig. 6은 이 연구에서 고려되고 있는 내력벽식 구조물의 발파 후 구조물의 붕괴거동을 예측한 그림이다. 내력벽은 등분 취약화를 하여 3회에 걸쳐 발파를 하도록 계획하였다. 1차, 2차 발파 후에는 구조물의 무게중심이 Fig. 6(c)에서 보여주는 바와 같이 위치하게 되어 전도방향과 편심에 의한 휨모멘트방향이 반대 방향이 되어 전도가 원활히 이루어지지 못한다. 따라서 추가적인 3차 발파를 실시하여 구조물의 무게중심이 Fig. 6(d)와 같이 배치되어 전도방향과 편심에 의한 휨모멘트 ($M = W\delta$)방향이 일치되도록 계획하여야 한다.

3. 유한요소해석

이 연구에서는 앞서 설명한 내력벽식 구조물의 사전취약화 과정에 따라 Fig. 7에서 보여주고 있는 바와 같이 국내에 건설되고 있는 내력벽식 60m²(18평) 아파트의 사전취약화 가능범위를 유한요소해석법 사용하여 예측해 보았다. Fig. 7에서 보여주고 있는 바와 같이 내력벽식 60m² 아파트의 경우 연속된 내력벽의 최장 폭이 약 7m인 것으로 조사되어 7m인 내력벽을 대상으로 사전취약화 범위를 예측하였다.

유한요소해석은 상용 구조해석 프로그램인 GTSTRUDL Ver. 30을 사용하여 실시하였다. 벽체높이는 3.0m, 두께는 200mm로 가정하였다. 시공당시 콘크리트의 설계압축강도(f_{ck})는 24MPa로 가정하였으며, 배근철근의 항복강도(f_y)는 400MPa, 탄성계수는 200 GPa로 가정하였다. 벽체 좌우 양측과 하부는 고정지지로 가정하였으며, 하중이 재하되는 부분은 자유단로 가정하여 하중이 재하됨에 따라 벽체에 발생하는 수직변위를 허용하였다. 하중의 크기는 $0.5\phi P_{nw} \sim 1.0\phi P_{nw}$ 으로 다양하게 가정하여 재하하였다. Fig. 8은 해석을 위해 모델링된 유한요소해석 모델을 보여주고 있는 그림이다. 모델링은 GTSTRUDL Ver. 30내 6절점 판요소인 SBHQ6를 사용하였다. 사전취약 후 잔존하는 벽체가 좌우 대칭이 되므로 좌측 5m인 벽체를 모델링

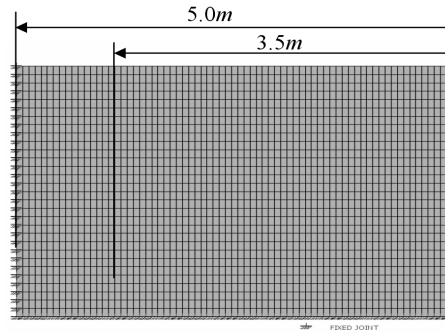


Fig. 8. FE model of load bearing wall.

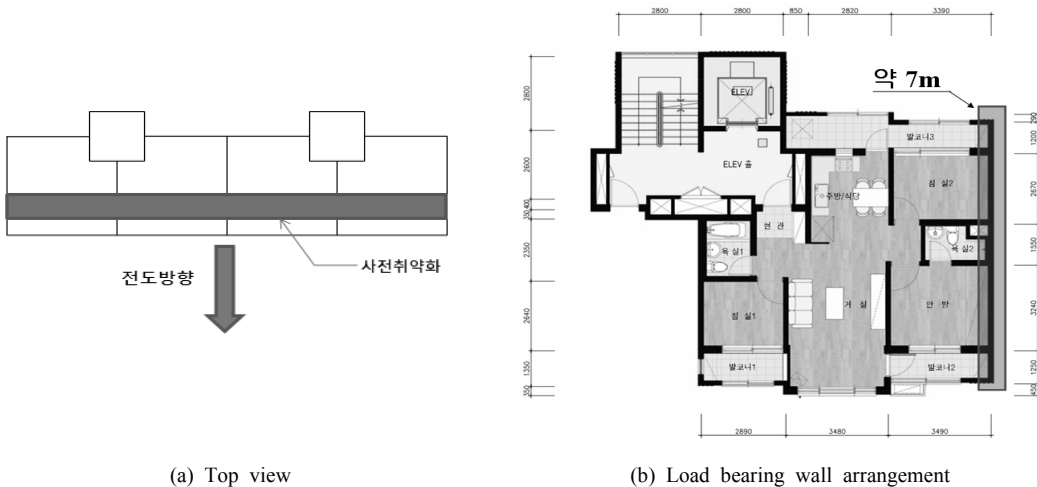


Fig. 7. Blasting plan of structure constructed using load bearing wall system.

하여 총 10m인 벽체를 모사하였다. 모델링된 5m 벽체 중 사전취약 후 자유단으로 경계조건이 변경되는 우측면으로부터 3.5m에 해당하는 부분만의 결과값을 최종 해석결과 값으로 고려하였다.

3.1 철근배근에 따른 유한요소해석

해석에 철근의 배근상태를 고려하기 위해 현행기준(콘크리트 구조설계기준, 2007)을 참고하여 내력벽에 배근된 철근량은 내력벽의 단면적(A_g)중 1%~8%에 해당한다고 가정하였다. 또한, 안전측 해석을 위해 철근이 배근되지 않은 무근상태(0%)일 경우도 추가적으로 고려하였다. 해석상 편의를 위해 철근은 내력벽의 단면적 전체에 등분포하게 배치되어 있다고 가정하였으며, 이러한 영향을 고려하기 위해 배근철근의 영향을 고려한 내력벽의 환산단면적(A_g')을 계산하여 Table 1에 보이는 바와 같이 나타내었다.

환산단면적(A_g')을 계산하기 위해 콘크리트의 탄성계수는 식 (2)을 참조해 27.1GPa($8,500\sqrt{32}$)로 가정하였으며, 배근철근의 탄성계수는 200GPa로 가정하였다. 유한요소해석에 계산된 환산단면적을 적용하기 위해서 사용한 판요소인 SBHQ6의 두께를 조절하여 적용하였다.

3.2 내력벽의 온도 변화에 따른 유한요소해석

화재 등의 원인으로 인해 내력벽이 고온에 노출될 경우 내력벽의 구조적 성능은 저하되며, 이러한 영향은 구조해석에 반영하여야 한다. 이를 위해 Fig. 4, 5를 참고하여 온도가 평상시(20°C)일 경우와 콘크리트와 배근철근의 강도가 급격히 줄어들기 시작하는 400°C에 노출될 경우를 가정해 보았다. 400°C일 경우는 화재 등으로 인해 고온의 환경을 경험한 내력벽의 한 예로 적용하였으며, 해당 온도(400°C)일 경우 콘크리트의 탄성계수는 평상시의 1/3, 배근철근의 탄성계수는 평상시의 80%(160GPa)(Fig. 4, 5 참조)로 감소한다고 가정하였다. Table 1의 환산단면적(A_g')을 계산한 방법과 동일한 방법을 적용하여 각각 20°C, 400°C일 경우의 내력벽의 환산단면적(A_g') 추정하여 Table 2에 표현하였다.

3.3 유한요소해석 결과

유한요소해석 결과 사전취약에 따른 잔존하는 내력벽에 발생하는 면내응력의 분포는 Fig. 9와 같은 형태임을 알 수 있었다. Fig. 9는 하중의 크기가 $0.5\phi P_{nw}$ 일 경우에 사전취약화를 3m 실시하였을 때의 결과값을 보여주고 있는 그림이다. 그림에서 보여주고 있는 바와 같이 사전취약화를 위해 절단된 면의 경계조건

Table 1. Transformed sections of load bearing wall pertaining to amount of reinforcement

Amount of reinforcement	0%	1%	8%
Transformed section (A_g')	$1.0A_g$ (①)	$1.06A_g$ (②)	$1.51A_g$ (③)

① → A_g

② → $0.99(99\%) \times A_g + 0.01(1\%) \times \frac{200\text{GPa}}{27.1\text{GPa}} \times A_g = 1.06A_g$

③ → $0.92(92\%) \times A_g + 0.08(8\%) \times \frac{200\text{GPa}}{27.1\text{GPa}} \times A_g = 1.51A_g$

Table 2. Transformed sections of load bearing wall pertaining to amount of reinforcement and various temperatures

Temperature (°C)	Amount of reinforcement	0%	1%	8%
20	Transformed section (A_g')	$1.0A_g$	$1.06A_g$	$1.51A_g$
400	Transformed section (A_g')	$0.33A_g$ (④)	$0.39A_g$ (⑤)	$0.78A_g$ (⑥)

④ → $0.33A_g$

⑤ → $0.99(99\%) \times 0.33A_g + 0.01(1\%) \times \frac{160\text{GPa}}{27.1\text{GPa}} \times A_g = 0.39A_g$

⑥ → $0.92(92\%) \times 0.33A_g + 0.08(8\%) \times \frac{160\text{GPa}}{27.1\text{GPa}} \times A_g = 0.78A_g$

이 자유단으로 바깥에 따라 발생하는 면내응력은 Fig. 9의 우측 자유단 쪽에 집중됨을 알 수 있었다. 또한, 사전취약화가 진행함에 따라 잔존하는 벽체의 길이가 줄어들고 그에 따라 자유단 쪽에 집중되는 경향이 커져 최종적으로 발생하는 면내응력은 증가하는 경향을 보임을 알 수 있었다.

해석결과 사전취약화 범위에 따라 발생하는 최대응력의 크기를 정리하여 Table 3~Table 4와 Fig. 10~Fig. 13에 표현하여 나타내었다. Table 3~Table 4와 Fig. 10~Fig. 13에서 보여주고 있는 바와 같이 사전취약 범위가 증가함에 따라 잔존하는 내력벽에 발생하는 면내응력은 증가하는 경향을 보여줌을 알 수 있었고, 국내 연구결과(한국퍼실리티매니지먼트학회, 2009)를 참조하여 잔존하는 내력벽이 견딜 수 있는 최대 응력은 13.5MPa으로 가정하였다. Table 3~Table 4에서 13.5MPa을 초과하는 값은 음영으로 표시하였으며, Fig. 10~Fig. 13에서는 실선으로 표시하여 나타내었다. Table 3 및 Table 4와 Fig. 10~Fig. 13에서 보여주고 있는 바와 같이 사전취약화 범위에 따라 잔존

하는 내력벽에 발생하는 응력은 내력벽에 재하되는 하중과 철근량의 영향이 큼을 알 수 있었다. 또한, 내력벽의 온도가 20℃일 경우에는 각각의 하중($0.5\phi P_{nw}$ ~ $1.0\phi P_{nw}$)에 대해 일부 경우를 제외한 대부분의 경우에 사전취약이 가능한 것으로 나타났지만, 내력벽

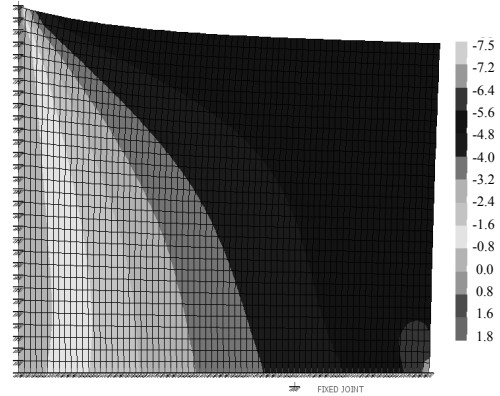


Fig. 9. Stress distribution in load bearing wall.

Table 3. Maximum stress occurred in the load bearing wall under 20℃

Amount of reinforcement	Load	Maximum stress occurred in the load bearing wall pertaining to the range of pre-weakening (MPa)							
		0m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m	3.5m	4.0m
0%	$0.5\phi P_{nw}$	6.31	6.78	7.00	7.21	7.39	7.52	7.60	7.59
	$0.6\phi P_{nw}$	7.57	8.13	8.40	8.65	8.87	9.03	9.12	9.11
	$0.7\phi P_{nw}$	8.83	9.49	9.80	10.09	10.34	10.53	10.64	10.63
	$0.8\phi P_{nw}$	10.09	10.84	11.20	11.53	11.82	12.04	12.16	12.14
	$1.0\phi P_{nw}$	12.62	13.56	14.00	14.42	14.77	15.04	15.20	15.18
1%	$0.5\phi P_{nw}$	5.95	6.40	6.60	6.80	6.97	7.09	7.17	7.16
	$0.6\phi P_{nw}$	7.14	7.67	7.92	8.16	8.37	8.52	8.60	8.59
	$0.7\phi P_{nw}$	8.33	8.95	9.25	9.52	9.75	9.93	10.04	10.03
	$0.8\phi P_{nw}$	9.52	10.23	10.57	10.88	11.15	11.36	11.47	11.45
	$1.0\phi P_{nw}$	11.91	12.79	13.21	13.60	13.93	14.19	14.34	14.32
8%	$0.5\phi P_{nw}$	4.18	4.49	4.64	4.77	4.89	4.98	5.03	5.03
	$0.6\phi P_{nw}$	5.01	5.38	5.56	5.73	5.87	5.98	6.04	6.03
	$0.7\phi P_{nw}$	5.85	6.28	6.49	6.68	6.85	6.97	7.05	7.04
	$0.8\phi P_{nw}$	6.68	7.18	7.42	7.64	7.83	7.97	8.05	8.04
	$1.0\phi P_{nw}$	8.36	8.98	9.27	9.55	9.78	9.96	10.07	10.05

의 온도가 400°C가 될 경우에 철근량이 내력벽 단면 적의 8%인 경우를 제외하고는 대부분의 경우 사전취 약화가 불가능할 것으로 나타났다. 이러한 경향을 볼 때, 내력벽의 사전취약화를 계획하고 실시함에 있어서는 정확한 현장조사를 통해 현황을 정확히 파악함

과 동시에 구조전문가의 자문을 통해 내력벽에 재하 되는 하중의 크기를 정확히 파악함이 무엇보다 중요 함을 알 수 있다. 또한, 구조물의 사용에 따라 재해의 경험이 있는 구조물일 경우 해당 자료를 면밀히 검토 하여 검토결과를 반드시 구조해석에 반영해야 함을

Table 4. Maximum stress occurred in the load bearing wall under 400°C

Amount of reinforcement	Load	Maximum stress occurred in the load bearing wall pertaining to the range of pre-weakening (MPa)							
		0m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m	3.5m	4.0m
0%	$0.5\phi P_{nw}$	19.12	20.55	21.21	21.85	22.39	22.79	23.03	23.00
	$0.6\phi P_{nw}$	22.94	24.64	25.45	26.21	26.88	27.36	27.64	27.61
	$0.7\phi P_{nw}$	26.76	28.76	29.70	30.58	31.33	31.91	32.24	32.21
	$0.8\phi P_{nw}$	30.58	32.85	33.94	34.94	35.82	36.48	36.85	36.79
	$1.0\phi P_{nw}$	38.24	41.09	42.42	43.70	44.76	45.58	46.06	46.00
1%	$0.5\phi P_{nw}$	16.18	17.38	17.95	18.49	18.95	19.28	19.49	19.46
	$0.6\phi P_{nw}$	19.41	20.85	21.54	22.18	22.74	23.15	23.38	23.36
	$0.7\phi P_{nw}$	22.64	24.33	25.13	25.87	26.51	27.00	27.28	27.26
	$0.8\phi P_{nw}$	25.87	27.79	28.72	29.56	30.31	30.87	31.18	31.13
	$1.0\phi P_{nw}$	32.36	34.77	35.90	36.97	37.87	38.56	38.97	38.92
8%	$0.5\phi P_{nw}$	8.09	8.69	8.97	9.24	9.47	9.64	9.74	9.73
	$0.6\phi P_{nw}$	9.71	10.42	10.77	11.09	11.37	11.58	11.69	11.68
	$0.7\phi P_{nw}$	11.32	12.17	12.56	12.94	13.26	13.50	13.64	13.63
	$0.8\phi P_{nw}$	12.94	13.90	14.36	14.78	15.15	15.44	15.59	15.56
	$1.0\phi P_{nw}$	16.18	17.38	17.95	18.49	18.94	19.28	19.49	19.46

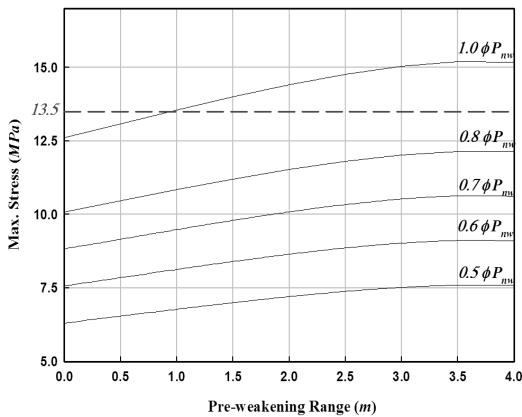


Fig. 10. Relationship between maximum stress and pre-weakening range. (t = 20°C, reinforcement=0%).

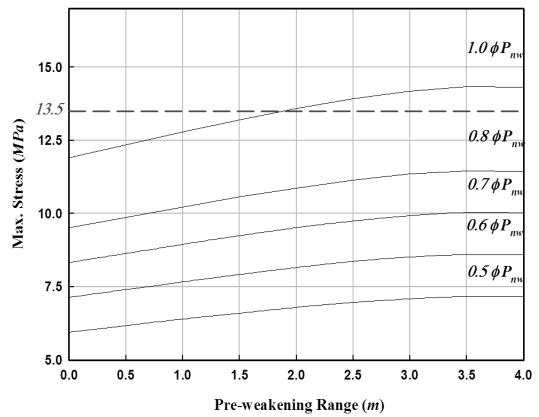


Fig. 11. Relationship between maximum stress and pre-weakening range. (t = 20°C, reinforcement = 1%).

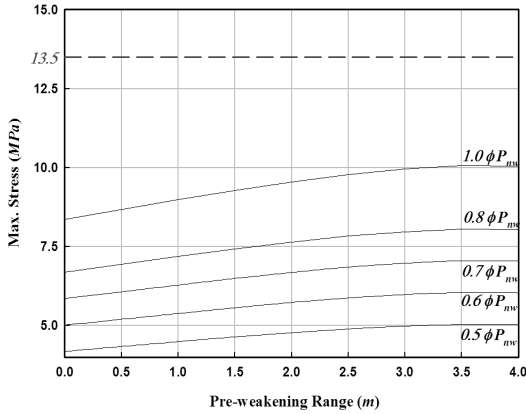


Fig. 12. Relationship between maximum stress and pre-weakening range. (t = 20°C, reinforcement = 8%).

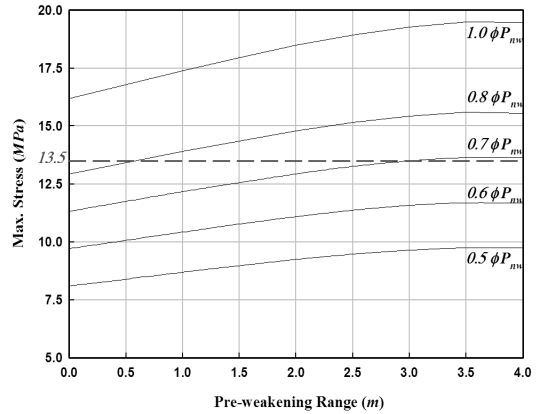


Fig. 13. Relationship between maximum stress and pre-weakening range. (t = 400°C, reinforcement = 8%).

알 수 있었다.

4. 결론

이 연구에서는 내력벽식 구조물을 발파하기 위해 계획된 사전취약화 및 발파공정에서 구조 안정성 및 붕괴거동의 유도를 위한 사전취약화 가능범위를 결정하는 방법에 대해서 검토하였고, 또한 각각의 과정에서의 주요고려사항에 대해서 언급하였다. 유한요소해석을 실시하여 60m² 내력벽식 아파트 구조물을 대상으로 사전취약화 가능범위를 예측해 보았다.

예측결과 7m 벽체의 경우 화재 등의 재해가 없을 경우에는 일부 극한 경우를 제외 하고는 4m(약 57%)까지도 사전취약화가 가능할 것으로 생각된다. 하지만, 화재 등의 재해로 인해 온도가 급격히 상승하여 약 400°C에 이를 경우에는 벽체의 강도가 급격히 저하되어 대부분의 경우 사전취약화가 불가능할 것으로 생각된다.

이러한 결과를 통해 내력벽의 사전취약화 가능범위를 예측하기 위해서는 현장조사를 통해 사전취약화 대상 내력벽의 상태를 정확히 파악하고 관련전문가의 자문을 통해 내력벽에 재하되는 하중을 정확히 예측함이 가장 중요함을 알 수 있었다. 또한, 구조물이 사용중에 재해를 경험한 경우에는 관련자료를 반드시 검토하여 해석에 반영해야 함을 알 수 있었다.

이 연구는 내력벽의 사전취약화를 위한 초기 연구로 내력벽의 축방향하중만을 고려했다. 차후에 구조물의 전체형상, 내력벽의 배치형태 및 풍하중의 영향 등을 고려해서 내력벽의 힘에 대한 연구가 추가적으로 진행되어야 할 것으로 생각되며, 이 연구에서 제시한 방법과 내용이 상호보완적으로 결합될 경우 좀 더 실용적으로 내력벽의 사전취약화 가능범위를 예측하고 그에 따른 시공계획의 수립이 가능할 것으로 생각된다.

감사의 글

이 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업(과제번호: 09CHUD-B043673-04-000000)의 지원비 일부와 2009학년도 홍익대학교 학술연구진흥비 지원에 의해 수행된 것으로, 이 연구비 지원에 대해 감사드립니다.

참고문헌

1. 민창식, 윤순중, 유승룡, 임홍철, 2005, 철근콘크리트공학, 구미서관.
2. 석철기, 김태훈, 1995, CEMENT SILO 발파해체 사례 연구, 한국자원공학회, pp. 91-100.
3. 최훈, 주형중, 김효진, 윤순중, 2008, 발파해체를 위한 사전취약화 범위 설정 및 구조적 안전성평가, 한국강구조학회 학술대회발표집, pp. 411-414.
4. 최훈, 김효진, 박훈, 윤순중, 2009, 원통형 콘크리트 사

- 일로의 발파해체 전도공법 적용을 위한 사전취약화 구조해석, 화약·발파(대한화약발파공학회지), Vol. 27, No. 2, pp. 12-18.
5. 최훈, 주형중, 이승식, 윤순중, 2010, 리모델링 공사를 고려한 슬래브 구조물의 거동에 관한 해석적 연구, 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, Vol. 14, No. 2, pp. 106-112.
 6. 한국콘크리트학회, 2008, 콘크리트구조설계기준 해설, 기문당.
 7. 한국퍼실리티매니지먼트학회, 2009, 리모델링의 이해, 기문당.
 8. Lie, T.T., T.J. Rowe and T.D. Lin, 1986, Residual Strength of Fire-Exposed Reinforced Concrete Columns, Evaluation and Repair of Fire Damage to Concrete, SP-92, American Concrete Institute, pp. 153-174.
 9. Pauw, A., 1960, Static Modulus of Elasticity of Concrete as Affected by Density, American Concrete Institute, Proceedings V. 57, No. 6, Dec., pp. 679-687.



최 훈
홍익대학교 박사과정

전화 : 02)3141-0774
E-mail : kamanana@hanmail.net



홍 순 중
두산건설 부장

전화 : 02)782-5481
E-mail : hhssjj@doosan.com



문 병 화
홍익대학교 석사과정

전화 : 02)3141-0774
E-mail : danielh.mun@gmail.com



김 효 진
한국토지주택공사 주택도시연구원 연구위원

전화 : 031)738-4715
E-mail : red2395@naver.com



윤 순 중
홍익대학교 토목공학과 교수

전화 : 02)3141-0774
E-mail : sjyoon@hongik.ac.kr