

공동주택용 외단열 적층시공 공법 개념모델 개발

The Conceptual Framework of Concurrent Construction Method for EIFS in Apartment

임 현 수

김 태 훈

조 훈 희*

강 경 인

Lim, Hyunsu

Kim, Taehoon

Cho, Hunhee*

Kang, Kyung-In

School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seongbuk-Gu, Seoul, 136-713, Korea

Abstract

Exterior Insulation and Finishing System(EIFS) is recognized as a promising alternative for energy reduction as energy reduction ratio of apartment is to be increased from 40% to 60% in 2017. However, EIFS is not actively applied to apartment because additional construction costs and duration are required for the current existing construction method of EIFS. Therefore, this study proposes a conceptual framework for concurrent construction method of EIFS which can reduce construction costs and duration by working sequentially from frame work to exterior insulation finishing work, and then verify the method's feasibility by analyzing a case study. It has been proven from the analysis that concurrent construction method of EIFS reduces 6.7% of construction duration and 13% of construction costs compared with the conventional exiting method. The proposed method is expected to contribute to invigorated application of EIFS to apartment.

Keywords : exterior insulation and finishing system(EIFS), concurrent construction, apartment, temporary system

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

공동주택의 에너지 의무절감율이 2015년 40%로 상향 조정되고 2017년까지 60%로 단계적 상향이 예정되면서[1], 공동주택의 에너지 절감을 위한 방안들이 요구되고 있다. 특히 외벽을 통한 열손실은 전체 건물의 약 40% 수준으로 건물의 에너지 절감을 위해서는 벽체 단열성능에 대한 강화가 우선적으로 고려되어야 한다[2].

외단열 공법(Exterior Insulation and Finishing System; EIFS)은 건물의 외부에 단열재를 시공하는 방식으로, 기존의 공동주택에 적용하였던 내단열 공법의 벽과 슬래

브 사이의 열교현상을 방지할 수 있고 실내공간의 콘크리트가 축열 효과를 발휘하여 난방열이 지속되어 건물의 에너지 저감에 효과적이다. 또한 기존의 내단열 공법은 단열재를 내부에 부착하여 실내공간이 감소하나 외단열 공법은 단열재와 상관없이 실내공간을 활용할 수 있는 장점이 있다[3].

이러한 장점에도 불구하고 국내 공동주택의 외단열 공법은 추가적인 공기와 비용의 증가로 인해 매우 한정적으로 적용되고 있다. 내단열 공사는 골조공사와 함께 하부층에서 적층으로 시공되는 반면 외단열 공사는 일반적으로 골조공사가 완료된 후 시공하기 때문에 외단열 공사기간이 추가적으로 요구된다. 또한 외단열 공사는 단열재를 외벽에 부착하기 때문에 외벽작업을 위한 가설비거나 곤돌라와 같은 가설이 설치되어야 하며 이로 인해 추가적인 가설 설치, 해체 비용과 작업시간이 과도하게 소요된다. 이러한 공사기간과 비용의 증가는 공동주택의 외단열 공법 활성화에 가장 큰 저해요인으로[4], 현재 공동주택의 단열공사는 내단열로 시공하고 에너지 손실 저감을 위해 단열재의 두께를 늘리고

Received : April 29, 2015

Revision received : May 7, 2015

Accepted : June 8, 2015

* Corresponding author : Cho, Hunhee

[Tel: 82-2-3290-3328, E-mail: hhcho@korea.ac.kr]

©2015 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

있는 실정이다.

그러나 단열재의 두께가 늘어날수록 실내공간이 줄어들며 단열재 성능 향상만으로는 슬래브와 벽의 열교로 손실되는 열을 근본적으로 차단할 수 없어 건물의 단열효율 향상에 한계가 존재한다. 이에 공동주택의 상향되는 에너지 절감률을 충족하기 위해서는 외단열 공법 적용이 필수적이며 외단열 공법 적용의 저해요소를 해결하기 위한 외단열 공법의 개선이 요구되고 있다.

본 연구의 목적은 외단열 공동주택의 공사기간 단축과 공사비 절감을 위해 기존의 외단열과 가설시스템의 단점을 보완한 외단열 적층시공공법 개념모델을 개발하는 것이다. 또한 본 연구에서 개발한 공법의 사례분석을 통해 공기단축 및 공사비 절감 효과를 분석함으로써 공법의 타당성을 검증하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 공법의 적용대상을 공동주택으로 한정하고 일반적으로 공동주택에 적용되는 습식 외단열 시스템을 공법의 개발 대상으로 한다. 또한 가설시스템은 안전성이 높고 외단열 공사의 시공성을 높일 수 있는 넓은 작업발판이 설치된 GCS¹⁾(Guide-rail Climbing System)를 개발 대상으로 한다.

전체적인 연구의 진행방법은 다음과 같다.

- 1) 기존에 공동주택에 일반적으로 적용하였던 외단열 공법들을 고찰하고 문제점을 분석한다.
- 2) 기존의 문제점을 해결할 수 있는 적층시공 운영방식의 대안들을 도출하고 대안별 전문가 평가를 통해 운영방식의 기본안을 선정한다.
- 3) 선정된 운영방식에 요구되는 요소기술을 도출하여 외단열 적층시공 공법의 개념모델을 개발한다.
- 4) 사례적용을 통해 기존 외단열 공법과 비교분석하여 개발된 공법의 공기단축 및 경제적 효과를 분석한다.

2. 공동주택 외단열 공법 분석

2.1 공동주택 외단열시스템 습식 공법

외단열 습식공법은 모르타르를 접착제로 사용하여 단열재

를 구조체에 부착하는 방식이다. 일반적으로 접착제→단열재→보강재→마감재로 구성되며 접착하는 방식에 따라 접착식과 앵커식으로 구분할 수 있다[5].

접착식은 접착제로 모르타르만을 사용하여 단열재를 부착하는 방식이다[7](Figure 1, (a)). 모르타르만을 사용하여 경제적이고 앵커식에 비해 공정이 단순한 장점이 있다. 그러나 모르타르만을 사용하기 때문에 접착력이 약하고 골조의 표면 상태에 따라 접착력이 상이하다. 이에 단열재가 두껍고 골조 표면이 고르지 못할수록 탈락하자가 빈번하게 발생하여 주로 저층건물에 적용되어 왔다.

앵커식은 접착다울을 골조에 삽입하여 고정시킨 후 다음에 접착모르타르를 발라 단열재를 부착하는 방식이다[7](Figure 1, (b)). 접착식에 비해 접착력이 좋고 골조의 표면의 상태와 관계없이 높은 부착력을 유지할 수 있어 리모델링이나 중고층에 적용되어왔다. 그러나 접착다울을 시공하는 공정이 추가되어 공정이 복잡하고 접착식에 비해 비용이 상승하는 단점이 있다.

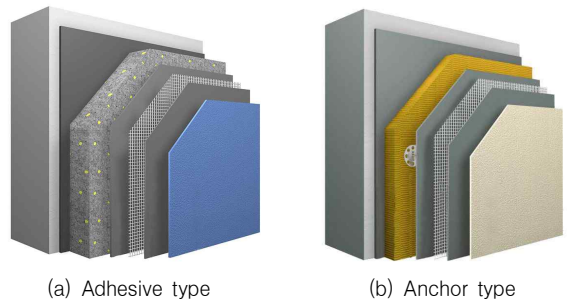


Figure 1. Two types of EIFS using wet construction method

외단열 습식공법의 공통적인 문제점은 부착력이 낮고 모르타르를 사용한 습식공정으로 인해 접착과 보강공정에 많은 시간이 소요된다는 것이다. 또한 접착공정이 습식으로 이루어져 강수의 영향을 받아 공기지연의 가능성이 크고 공정이 과다하여 후행 공정에 영향을 미칠 수 있다.

2.2 공동주택 외단열 가설공법

국내 외단열 공사에 주로 적용되는 가설시스템은 곤돌라, 가설비계, 자동인양 작업발판이 있으며 각 시스템별 특징과 문제점을 분석하였다.

곤돌라는 골조공사가 완료된 후 건물옥상에 지지대를 설치하여 와이어로프를 통해 작업대를 상하로 승강시키는 시스템이다[8](Figure 2). 가격이 경제적이고 이동이 자유로

1) GCS: 타워크레인으로 인상하는 수직 시스템거푸집으로 가이드레일을 따라 인상되기 때문에 안정성이 높고 갭폼에 비해 작업발판이 넓다[6].

우며 높이에 영향을 받지 않기 때문에 공동주택 외단열 공사의 가설시스템 중에 적용실적이 가장 많다. 그러나 와이어로프 연결방식으로 바람의 영향을 받아 안전성이 낮고 고정되지 않은 작업발판으로 작업자의 생산성과 단열부착의 품질이 낮아질 수 있다. 또한 골조공사가 완료된 후에 설치할 수 있어 외단열 공사는 골조공사 완료 후에 가능하다.



Figure 2. EIFS work using gondola

가설비계는 골조공사 완료 후 외부 벽을 따라 쌍줄비계를 설치하여 작업발판을 만드는 가설시스템이다(Figure 3). 안정적인 작업발판으로 작업 생산성이 높고 자동화 장비에 비해 가격이 경제적이다. 그러나 설치와 해체에 많은 시간과 인력이 소요되고 높이가 올라갈수록 비계의 하중과 비용이 상승하기 때문에 일반적으로 저층건물 외단열 공사에 주로 적용된다. 가설비계 역시 상부 골조공사 시 낙하위험 때문에 골조공사가 완료된 후에 설치하는 것이 일반적이다.



Figure 3. EIFS work using scaffold

자동인양 워킹플랫폼은 골조공사가 진행되는 하부에 설치

되어 마감공사를 위한 작업발판을 제공하는 가설시스템이다 [9](Figure 4). RCS²⁾(Rail Climbing System)와 같은 인상 메커니즘을 가지고 있어 마감공사가 진행됨에 따라 유압장비를 통해 자동으로 상승하는 것이 특징이다. 골조공사와 일정한 간격을 두고 연속적으로 운영되기 때문에 마감공사의 공기를 단축할 수 있고 독립적이고 안정적인 작업발판으로 마감공사의 시공성과 품질을 향상시킬 수 있다. 그러나 별도의 가설시스템과 유압장비로 인해 가설비용이 상승하고 초기 설치에 많은 시간이 소요된다는 단점으로 인해 고층 건물의 건식패널 마감공사에 주로 적용되고 있을 뿐 습식 외단열 공사에 적용실적은 미비한 실정이다. 강혜민[10]의 연구에서도 기존 외단열 가설시스템의 개선을 위해 자동인양 워킹플랫폼을 골조공사 하부에서 외단열 가설시스템으로 활용하는 방안을 검토하였으나 외단열 공사에 적용을 위해서는 자동인양 시스템의 경제성 확보가 우선적으로 요구되는 것으로 분석되었다.



Figure 4. EIFS work using auto climbing platform

외단열 가설시스템의 특징을 비교분석한 결과는 Table 1과 같다. 건물이 고층일수록 곤돌라가 가설비계 보다 유리하며 30층 이상의 고층건물은 안전상의 이유로 자동인양 워킹플랫폼을 선호하는 것으로 나타났다. 작업공간의 폭은 워킹플랫폼이 1.3~2.2m로 다른 가설시스템에 비해 작업생산성 확보에 용이한 것으로 나타났다. 또한 공기에 있어서도 워킹플랫폼이 외부환경의 영향이 적고 골조와 연속적으로 시공하여 공기단축에 효과가 있는 것으로 나타났으나 가격

2) RCS: 가이드 레일을 따라 유압장치로 자동으로 인상하는 수직 시스템거꾸집[6].

이 곤돌라와 비계에 비해 고가이기 때문에 30층 이상에 적용해야 경제성이 확보되는 것으로 분석되었다.

Table 1. Characteristic of temporary system for EIFS work

Item	Gondola	Scaffold	Auto climbing platform
Applicable building stories	Mid-to-high-rise building with 20-30 stories	Low building under 20 stories	High-rise building above 30 stories
Work space width	0.65m	0.4-0.8m	1.3-2.2m
Insulation work order	After structural work	After structural work	Concurrent with structural work
Influence by outside environmental	wind	rain	low-impact
Rental cost	low	low	high

3. 공동주택 외단열 적층시공 공법 개념모델

3.1 공동주택 외단열 적층시공 운영방식 도출

외단열 공사의 문제점을 해결하기 위해 적층시공은 효율적인 대안이 될 수 있다. 적층 시공이란 골조가 진행되는 동시에 하부에서 실내 마감공사를 병행하여 진행하는 공법으로 공사기간의 단축이 가능하다[11]. 골조공사가 완료된 후에 진행되었던 외단열 공사를 골조공사와 연속적으로 진행한다면 외단열 공사의 공기만큼을 단축할 수 있다.

외단열 공사의 적층시공을 위해서는 골조공사 하부에 외단열 시공을 위한 외벽 가설시스템이 요구된다. 가설시스템은 외단열 공정을 수행할 수 있는 충분한 작업발판의 단수를 보유해야 하며 골조가 상승하면서 하부에서 외단열 작업이 진행되도록 매층 상승해야 한다. 이러한 고려요소를 충족시키면서 적층시공 운영이 가능한 방식은 골조공사의 가설시스템과 통합하여 운영하는 방식과 하부에서 별도의 외단열 가설시스템을 운영하는 방식으로 나눌 수 있다.

골조공사의 가설시스템과 통합하여 운영하는 방식은 기존 시스템에 하부발판을 늘려 사용하여 추가적인 가설의 비용이 줄어들고 외단열 공사가 골조공사와 동시에 진행되기 때문에 프로젝트의 공기단축에 큰 효과가 있는 장점이 있다. 그러나 기존 시스템에 추가할 수 있는 하부발판의 단수가 구조적 문제로 인해 제한적이고 주 공정인 골조공사의 공기에 영향을 미칠 수 있는 단점이 있다. 별도의 외단열 가설시스템을 운영하는 방식은 골조공사와 별개로 진행되기 때문에 프로젝트의 주 공정에 영향을 미치지 않으며 작업발판을 통한 안정적인 외단열 시공이 가능하다. 그러나 추가적인

가설시스템과 인상을 위한 장비가 요구되어 비용이 상승하며 골조공사와 동시에 진행하는 방식보다 프로젝트의 공기가 상대적으로 길어질 수 있다.

외단열 적층시공 공법의 실용성 확보를 위해 외단열시스템 전문가, 가설시스템 전문가, 건설사 시공관리자 10명으로 구성된 전문가 집단의 회의를 진행하여 각 운영방식의 단점을 보완한 통합형 운영과 분리형 운영의 대안을 도출하였다.

3.1.1 골조공사 통합형 가설시스템

골조공사의 가설시스템과 통합하여 운영하기 위해선 외단열시스템의 공정 간소화가 요구된다. 외단열 공사의 선행공정으로는 골조공사와 창호공사가 있다. 골조공사를 위해서는 3개층 작업을 위한 3단의 발판이 필요하며 창호공사를 위해서는 창호설치 및 코킹을 위한 1단의 발판이 요구된다. 외단열 시공은 2번의 습식공정을 포함한 4단계 공정으로 시공을 위해서는 최소 2단 이상의 작업발판이 필요하다. 따라서 골조공사 적층시공을 위해서는 총 6개의 발판이 요구되나 최대 4개의 발판으로 구성된 골조공사 가설시스템을 6개의 발판으로 늘리면 가설시스템의 모든 하중을 상부 두 지점의 앵커가 지지하여 구조적인 부담과 시스템 인상 시 하부발판에 안정성 문제가 발생할 수 있다. 따라서 외단열 공정의 간소화를 통해 발판의 단수를 줄이는 방안이 요구된다.

골조공사에서 콘크리트와 단열재를 일체로 타설하는 방법으로 골조공사와 외단열 공사의 공정을 줄일 수 있다. 단열재를 Figure 5의 (a)와 같이 수직거푸집에 부착하여 콘크리트와 함께 타설하면 골조공사의 견출공정과 외단열공사의 단열재 부착공정의 생략이 가능하다. 일체형 시공방식을 통해 외단열공사에 필요한 작업발판의 단수를 1단으로 줄여 기존의 가설시스템에 발판을 1단만을 추가하여 활용할 수 있으며 외단열 습식공정을 줄여 골조공사의 지연 가능성을 크게 줄일 수 있다.

골조공사 통합형 가설시스템을 적용한 외단열 적층시공 공법은 Figure 5와 같다. N층은 단열재를 부착하여 골조공사를 진행하며 N-1층은 콘크리트 양생 및 서포트를 존치한다. N-2층은 서포트를 해체하고 창호를 인양하며 N-3층은 창호 설치 및 사춤과 유리를 설치한다. 마지막으로 N-4층은 메쉬함침으로 보강재를 시공한 후 마감재를 시공하여 외단열 적층공정을 마무리한다.

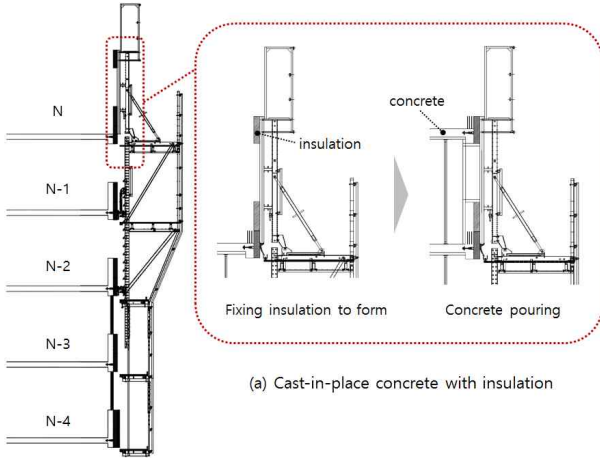


Figure 5. Integrated system for EIFS and frame work

3.1.2 외단열 분리형 가설시스템

외단열 분리형 가설시스템은 인상작업의 간소화를 통한 경제성 확보가 요구된다. 상부에 골조가설시스템이 설치되어 있어 타워크레인으로 인상이 어렵기 때문에 가설시스템이 스스로 인상될 수 있는 유압장비가 필요하다. 그러나 추가적인 외단열 가설시스템의 사용으로 이미 공사비용이 상승한 상황에서 인양을 위한 유압식 인상장비 추가는 경제적 측면에서 매우 불리하게 작용할 수 있다. 이에 외단열 분리형 가설시스템의 실용성 확보를 위해서는 경제성이 확보된 시스템의 인상방안이 우선적으로 요구된다.

상부의 골조공사 가설시스템과 하부의 외단열 가설시스템의 구조재 연결을 통해 별도의 장비 없이 가설시스템의 인상이 가능하다. 상부 시스템의 가이드 레일과 하부 시스템의 가이드 레일을 연결하여 타워크레인으로 인상하면 별도의 인상장비 없이 두 가설시스템을 동시에 인상할 수 있다. 그러나 지속적으로 연결되어 있으면 하부의 외단열 공사가 지연될 경우 골조공사의 공기가 영향을 받기 때문에 Figure 6의 (a)와 같이 연결편으로 두 시스템을 연결하고 연결편을 제거하면 골조공사의 가설시스템만 상승이 가능하도록 하였다. 이 경우 골조공사의 가설시스템이 먼저 상승하고 외단열 공사가 끝나면 다시 편을 연결하여 두 시스템의 동시 인상이 가능하다. 두 시스템의 가이드 레일은 1개 층 높이로 겹쳐져 연결되어 두 시스템이 1개 층 높이까지는 연결이 가능하다. 연결 시스템을 통해 동시인상으로 경제성을 확보할 수 있으며 상부의 골조공사는 하부의 외단열 공사에 받는 영향을 최소화할 수 있다.

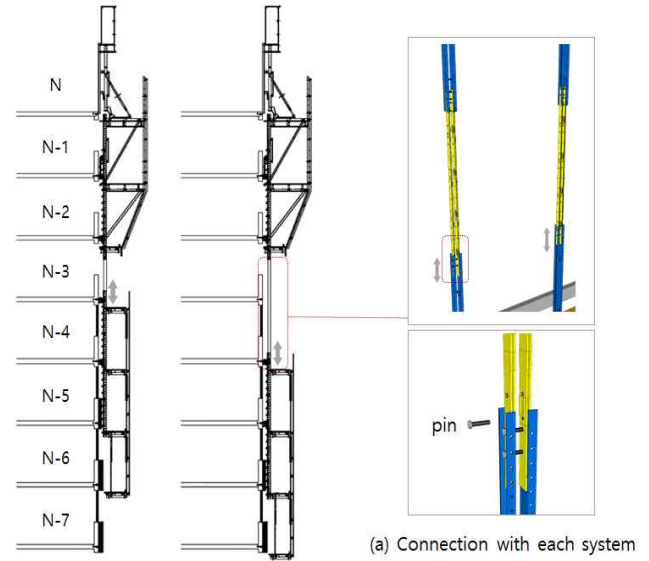


Figure 6. Separated system for EIFS and frame work

단열 분리형 가설시스템을 적용한 외단열 적층시공 공법은 Figure 6과 같다. N층~N-2층까지는 골조공사를 진행하며 N-4층은 건물 내부에서 창호를 설치한다. N-5은 창호의 사춤 시공과 단열재를 부착하고 N-6층은 메쉬합침을 통한 보강재를 시공하고 마감재 시공을 통해 외단열 공정을 종료한다.

3.2 공동주택 외단열 적층시공 운영방식 선정

외단열 적층시공 가설시스템의 운영방식을 선정하기 위해 평가항목을 선정한 후 pugh matrix를 사용하여 두 대안을 평가하였다. 전문가 집단의 회의를 거쳐 평가항목과 각 가중치를 도출하였고 기존의 곤돌라를 사용하여 외단열을 시공하는 공법을 기준으로 설정하였다. 각 대안의 평가는 항목별로 기준보다 좋으면 +, 나쁘면 -, 같으면 S로 표기하여 각 항목에 대한 가중치를 곱하여 총합으로 대안을 평가하였다 (Table 2).

평가결과 통합형 가설시스템이 분리형 가설시스템 보다 외단열 적층시공 공법의 운영방식에 전체적으로 더 적합한 것으로 나타났다. 통합형 가설시스템은 곤돌라보다는 가설비용이 고가이지만 분리형 시스템에 비해서 경제적이고 골조공사와 동시에 진행되어 공기단축에 크게 효과적인 것으로 나타났다. 또한 고정된 발판의 사용으로 기존 곤돌라보다 시공성, 안전성, 품질 부분에서 더 효과적인 것으로 나타났다. 다만 주 공정에 대한 영향이 기존 시스템과 분리형보다 크게

나타나 주 공정에 대한 영향을 최소화하는 보완방안이 요구된다. 다음으로 적층시공 운영방안으로 선정된 골조 통합형 가설시스템과 외단열시스템의 요소기술들을 도출하였다.

Table 2. Pugh matrix of concurrent construction method

No.	Factors	Weight	Gondola	Integrated system	Separated system
1	Cost effectiveness	5	S	-	-
2	Constructability	4	S	+	+
3	Safety	3	S	+	+
4	Quality	4	S	+	+
5	Reduction of duration	5	S	++	+
6	Influence on critical path	5	S	-	S
Total			0	11	6

3.3 공동주택 외단열 적층시공 공법 요소기술 도출

3.3.1 가설시스템 요소기술 도출

1) 슈 연장설치 기술

슈는 골조에 삽입된 앵커와 연결하여 가설시스템의 레일을 지지하고 인상 시 수직으로 유도해주는 장치이다. 적층시공의 경우 외부 마감재 두께만큼 슈가 늘어나야 레일의 운영이 가능하지만 연장된 슈의 개발은 가설시스템의 비용 상승으로 이어진다. 따라서 기존의 슈를 활용하기 위해 슈 연장부재를 개발하였다(Figure 7 (c)).

슈 연장부재는 가설시스템의 하중을 받을 수 있는 연장프레임과 앵커 연결부와 슈 연결부로 구성되어 있다. 건물 방향으로 앵커와 볼팅 결합하여 고정되며 외부방향으로는 슈와 볼팅 결합을 통해 슈를 고정한다. 또한 연장길이는 단열재와 마감재의 두께에 설치 작업성을 고려하여 20cm로 설정하였다. 연장부재의 설치는 슈와 마찬가지로 인양시 가설시스템 하부에서 해체하여 상부에서 슈와 함께 설치하는 방식으로 전용성을 최대화 하였다. 연장부재의 적용으로 가설시스템의 이격운영이 가능하며 연장부재를 최대한 단순화하고 기존시스템의 슈를 사용하는 방식으로 추가비용 절감 효과가 있다.

2) 하부 오염방지 기술

적층시공 공법은 하부에 마감재 부착 공정이 있어 상부에서 콘크리트 타설시 콘크리트 페이스트나 빗물에 하부 단열재가 오염되면 접착력이 약해져 마감품질에 큰 영향을 미칠

수 있다. 따라서 상부의 오염원이 벽체에 흘러내리지 않도록 갱폼과 발판에 설치되어 외부방향으로 오염물질의 배출을 유도하는 장치를 개발하였다(Figure 7 (a)).

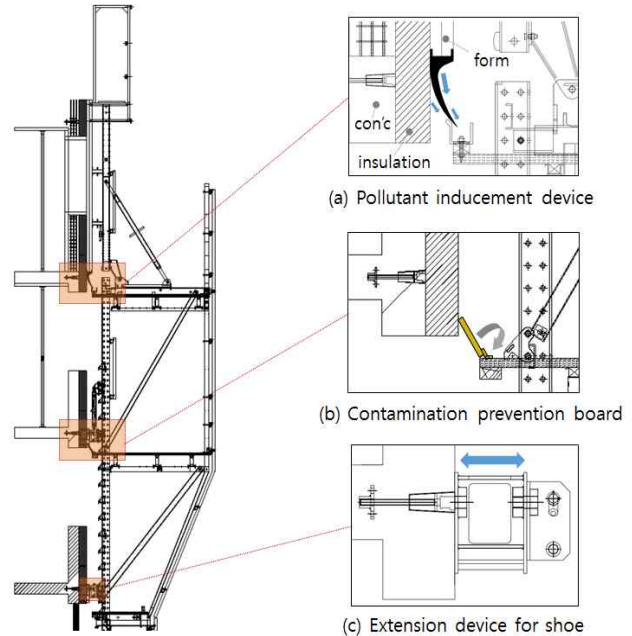


Figure 7. Element technology of integrated system for EIFS concurrent construction

접착력을 떨어뜨리는 오염물질로는 타설 시 갱폼 안에서 흘러내리는 콘크리트 페이스트와 갱폼 외부에서 흘러내리는 빗물이 있다. 두 오염물질이 갱폼에서부터 시작되기 때문에 갱폼 하부에 고무소재의 유도장치를 설치하여 발판 방향으로 유도되도록 하였고 유도된 오염물질이 발판에 설치된 유도로를 통해 가설시스템 바깥방향으로 흐르게 하였다. 또한 갱폼의 하부발판에는 갱폼 탈형시 발생하는 콘크리트 파편 등이 창호나 단열재를 손상시키지 못하도록 방지막이 부착된 접이식 발판을 통해 상부 파편이 하부로 낙하지 못하도록 하였다(Figure 7 (b)). 하부 오염방지 기술을 통해 단열과 외벽마감의 품질 향상과 자재손상으로 인한 공기지연의 가능성을 줄일 수 있다.

3.3.2 외단열시스템 요소기술 도출

1) 단열재 고정구

외부 단열재는 탈락방지를 위해 골조에 고정하는 고정구가 필요하고 내부거푸집은 타설 동안 형태를 유지하는 폼타이가 필요하다. 단열재 동시 타설시 두 자재를 모두 시공할

경우 많은 작업량으로 인해 골조공사 층당 공기가 지연될 수 있고 단열재에 다수의 폼타이를 통한 열교현상이 우려된다. 이에 본 연구에서는 폼타이와 결합할 수 있는 단열재 고정구를 개발하였다(Figure 8).

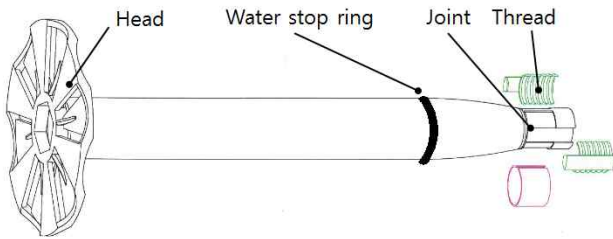


Figure 8. Detail of fastener for insulation board

고정구는 갱폼과 결합하고 단열재를 고정하여 탈락을 방지하는 헤드부, 폼타이와 볼팅결합되는 결합부, 결합부의 콘크리트 페이스트 누출을 막는 지수링으로 구성되어 있다. 고정구는 열교현상을 방지하기 위해 PVC로 제작되었으며 결합부 내부는 기존 폼타이의 볼트가 결합할 수 있게 철재로 나사선을 제작하였다. 또한 단열재 외부로 고정구를 통한 콘크리트 페이스트의 누출을 막기 위해 결합부에 고무자재인 지수링을 부착하여 페이스트 누출을 방지하였다. 단열재 고정구를 통해 기존 폼타이와 결합을 유지한 채로 단열재의 설치가 가능하며 단열재의 부착력 향상과 열교발생을 최소화할 수 있다.

2) 단열재 설치방법

단열재를 갱폼에 설치하는 공정은 골조공사 공정에 포함되기 때문에 단열재 설치시간을 최소화하는 것이 요구된다. 기존의 단열재 유닛은 작업성과 접착력을 고려하여 600x1,200mm의 크기로 제작되어 벽돌처럼 엇갈려 부착하였다. 이러한 단열재 유닛을 부착하여 일체로 타설할 경우 유닛수의 증가로 단열재 설치시간이 과도하게 소요되며 단열재를 엇갈려 쌓으면서 고정구 설치위치가 단열재마다 달라져 현장가공 시간도 과도하게 소요된다. 또한 단열재 이음부위가 많아져 페이스트 누출에 의한 품질저하가 우려된다. 따라서 본 연구는 단열재의 폭을 고정구 설치간격인 600mm와 높이를 건물 한 층의 내부높이로 모듈화하고 공장에서 고정구의 구멍을 가공하여 현장에서 설치하는 방식을 제시하였다(Figure 9).

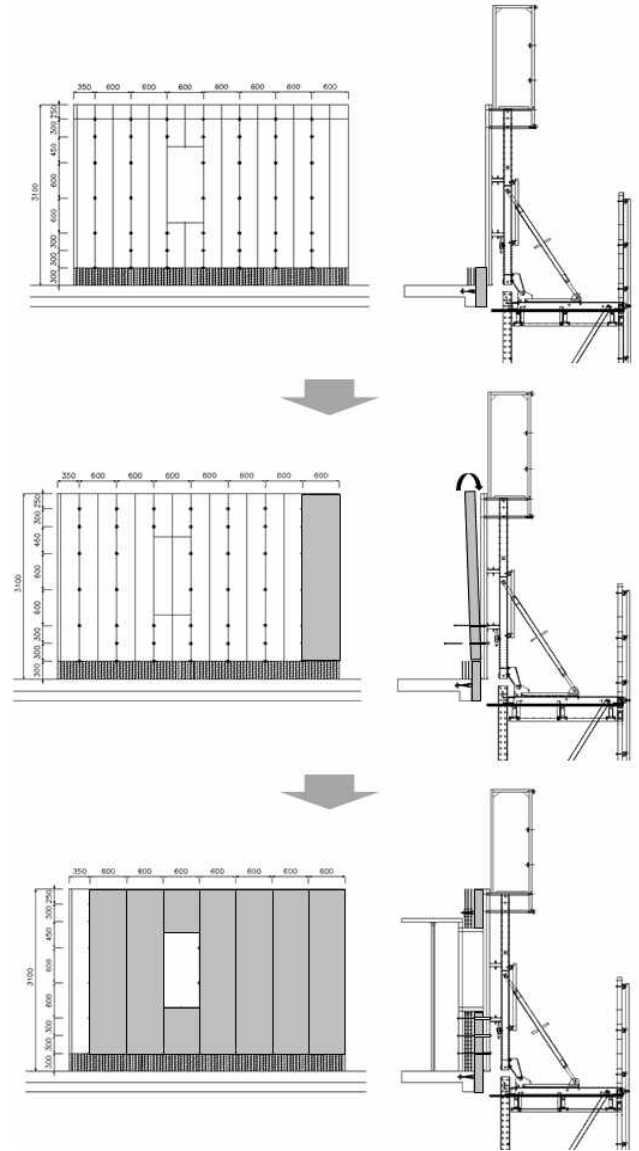


Figure 9. Process to install insulation board

단열재 설치하는 현장에서 갱폼 인상 후 벽체철근을 시공하기 전에 수행하며 가공된 단열재를 한 유닛씩 갱폼에 설치하고 고정구를 끼워넣는 방식으로 시공한다. 단열재의 크기가 커서 설치 시 벽체의 이음철근을 피해 기울여서 끼워 넣어야 하기 때문에 단열재는 이음철근 높이만큼 올려서 설치한다. 이는 시공성 향상과 타설시 콘크리트 페이스트 누출 감소 효과로도 이어진다. 벽체는 모듈화된 단열재를 사용하고 개구부에는 공장에서 별도로 가공한 단열재 유닛을 설치하는 방식으로 단열재 설치시간을 최소화하여 골조공사 공정에 미치는 영향을 최소화할 수 있으며 단열재 이음부위를 줄여 단열품질의 향상이 가능하다.

4. 공동주택 외단열 적층시공 공법 사례분석

4.1 현장개요 및 적층시공 공법 적용

본 연구에서 제안한 외단열 적층시공 공법의 공기단축과 공사비 절감효과를 검증하기 위해 현재 경기도에 시공 중인 공동주택 프로젝트를 사례적용 현장으로 선정하였다. 사례 현장의 개요는 Table 3와 같다.

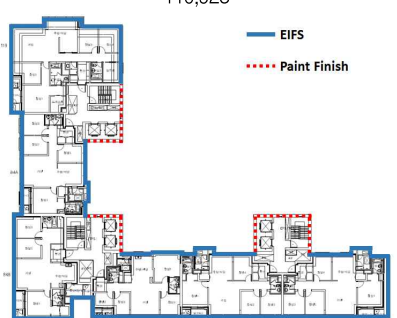
Table 3. Case overview

Title	Construction site for bagot new town
Location	Bagot new town in Siheung-si, Gyeonggi-do
Construction period	2014.10.01.~2017.08.31
Gross area	439,568㎡
Building coverage ratio	23.75%
Floor area ratio	352.06%
Scale	B2F/ 40F/ twelve buildings
Structure	Reinforced concrete

적층시공 공법의 효과분석을 위해 기존의 외단열 공법과 적층시공 외단열 공법을 본 사례현장에 가상 적용하였다 (Table 4).

기존 외단열 공법은 골조공사에 GCS를 사용하고 골조공사 완료 후 곤돌라를 설치하여 외단열공사를 수행하는 방식을 적용하였다. 외단열 적층시공공법은 골조공사와 외단열 공사가 적층시공 가설시스템을 동시에 사용하며 골조공사, 창호공사, 단열공사를 연속적으로 시공하는 방식을 적용하였다.

Table 4. Case overview of applying EIFS to building plan

	Existing method	Concurrent method
Insulation type	EIFS system using wet construction method	
Total EIFS area		110,923㎡
EIFS application plan		
	Temporary system for frame work	GCS
Temporary system for EIFS work	Gondola	

4.2 공사기간 분석

외단열 적층시공 공법의 전체 공기를 분석하기 위해 먼저 외벽 가설시스템을 사용하는 공정인 골조공사, 창호공사, 외단열 공사의 1개 층 단위 공정을 수립하였다(Figure 10). 단위 공정의 기간은 사례현장의 골조공사 층당 공기인 6일로 설정하였다.

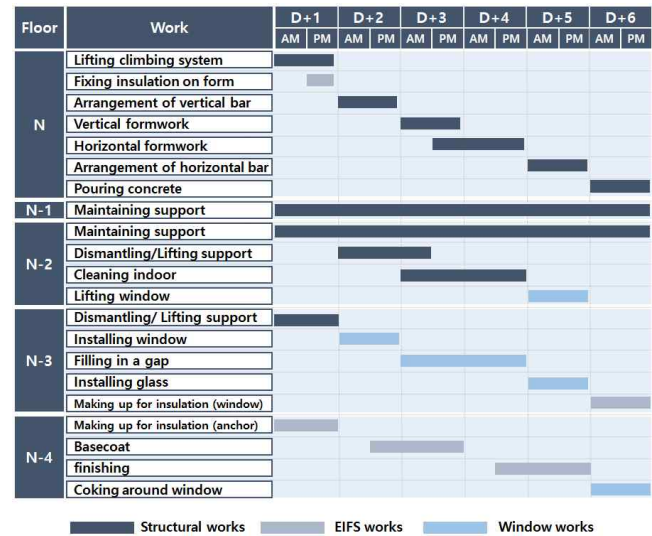


Figure 10. Process by floor in EIFS concurrent construction method

골조공사의 1개층 공정은 사례현장과 동일한 공기로 N층부터 N-2층까지 진행된다. N층에서는 가설시스템 인양부터 시작하여 벽체 철근배근, 거푸집 설치, 바닥철근 배근, 콘크리트 타설로 1개층의 골조공사를 시공한다. 다음으로 N-1층은 콘크리트의 양생을 위해 서포트를 존치하며 N-2층은 절반의 서포트를 해체하여 최상층으로 인상 후 후속공정을 위한 내부청소를 한다. 기존 골조공사에서 추가되는 공정은 단열재 설치 공정으로 가설시스템 인양과 연속적으로 진행된다. 인양이 완료된 가설시스템 유닛부터 단열재를 부착하고 고정구를 결속하는 과정으로 가설시스템 인양 공정과 중첩되어 시공이 가능하기 때문에 기존 골조공사의 층당 공기에 영향을 미치지 않는다. 또한 기존 골조공사에서 생략된 공정은 견출공정으로 단열재와 골조를 동시에 시공하기 때문에 단열재 부착을 위한 별도의 골조 면정리 공정이 요구되지 않는다.

창호공사는 N-2층부터 N-4층까지 수행되며 N-2층에서는 창호의 인양이 진행된다. N-3층에서는 인양된 창호의

설치, 창호시춤, 유리설치가 진행되며 N-4층에서 단열공정이 완료된 후에 창호코킹으로 창호공사를 마무리한다.

단열공사는 N-3에서 N-4층에서 수행되며, 벽체 단열재 부착은 N층에서 골조공사로 수행되기 때문에 N-3층에서 창호부 주변의 단열재를 부착하는 공정을 수행한다. N-4층에서는 가설시스템 앵커부의 단열재를 부착하여 외부 벽체 단열재 부착공정을 마무리하고 메쉬합침을 통해 보강재를 시공한다. 이후 경화과정을 거쳐 마감재를 시공하여 단열공정을 마무리 한다.

층 단위 공정표를 바탕으로 기존 외단열 공법과 적층시공 외단열 공법을 적용한 건축공사 공정을 계획하였다(Figure 11). 사례현장은 내단열 공법을 적용하기 때문에 외단열 공법의 적용을 위해서는 전체 건축공사 공정에 외단열 공정을 추가하여 공정과 공사기간을 조정해야 한다. 이에 현장실무자와의 회의를 거쳐 사례현장의 건축공사 공정 계획을 기반으로 두 공법을 적용한 공정을 수립하였다.

기존 외단열 공법을 적용한 공정은 골조공사와 창호공사가 완료되면 외단열 공사를 진행하고, 외단열 공사가 완료되면 공용부의 도장공사를 진행하는 것으로 계획하였다. 단열재가 창호주변까지 설치되기 때문에 창호공사가 완료된 후 외단열 공사를 진행하고 단열재가 설치되지 않는 공용부위의 도장은 단열재와의 간섭을 고려하여 일반적으로 단열시공 후 진행된다. 내부 마감공사는 창호공정에 영향을 받으나 기존 창호공정에 변동이 없어 사례현장의 공정과 같게 계획했다. 기존의 실적자료에 근거하여 해당 면적에 외단열 공사에는 139일, 도장공사에는 89일이 소요될 것으로 예상되었고 나머지 공사는 기존 공사기간과 같이 설정하였다. 그 결과 전체 건축공사는 공정표 작성결과 도장공사를 마지막 공정으로 하여 930일이 소요될 것으로 분석되었다.

적층시공 외단열 공법을 적용한 공정은 골조공사와 창호공사, 외단열 공사가 5개 층에 걸쳐 적층으로 시공되고, 외단열 공사가 완료되면 도장공사가 진행되는 것으로 계획하였다. 골조공사가 최상부층에서 진행되면서 연속적으로 창호공사, 외단열 공사가 완료되기 때문에 창호공사는 372일, 외단열공사는 373일이 소요될 것으로 예측되었다. 또한 창호공사가 적층으로 시공되어 공정 시작과 완료가 기존보다 빨라 내부마감 공사가 조기 착수될 수 있어 전체 공기가 단축될 수 있는 것으로 나타났다. 전체 건축공사 공정표 작성결과 내부마감 공사를 끝으로 868일의 공사기간이 소요될 것으로 예측되었다.

두 공법의 비교분석 결과 적층시공 외단열 공법이 기존의 외단열 공법보다 62일의 공기를 단축할 수 있을 것으로 분석되었다. 이는 분리되어 순차적으로 수행되었던 창호공사와 외단열 공사가 적층으로 연속시공되면서 두 공정의 공사기간이 534일에서 379일로 단축됐고, 이로 인해 후속공정인 도장공사가 당겨지면서 최종 공정이 도장공사에서 내부마감공사로 변경된 것에 기인한다. 또한 창호공사를 골조공사의 층당공기로 시공하면서 기존보다 조기에 착수하고 전체 공정일수가 줄어들어 내부마감 공사를 44일 일찍 시공할 수 있을 것으로 나타났다. 따라서 외단열 적층시공공법의 적용으로 기존 공법보다 6.7%인 약 2달의 공기단축의 효과가 있을 것으로 기대된다.

4.3 공사비 분석

적층시공 공법과 기존 공법의 공사비를 분석하기 위하여 각 공법의 적용 시 변동되는 공정을 대상으로 사례현장의 공사비를 분석하였다(Table 5). 공사비는 크게 자재비, 노무비, 장비비로 구분하여 비용을 산출하였다. 노무비 산정을 위한 품셈 및 노임은 2015년 표준품셈과 2015년 상반기 시중노임단가를 적용하였고, 자재비는 2015년 종합물가정보를 적용하여 산정하였다. 장비비의 경우 가설시스템 실무자 면담을 통해 최근 3년간 평균 임대비용을 기준으로 하였다. 단열시공 물량은 사례현장의 전체 동의 입면에서 개구부와 공용부를 제외한 면적인 110,923㎡으로 산출하여 적용하였다. 가설시스템 물량은 사례현장의 도면을 바탕으로 각 가설 시스템을 배치하여 각 동별로 GCS 31유닛, 곤돌라 18유닛으로 산정하였다.

자재비는 적층시공 공법이 41,013원/㎡이고 기존 공법은 37,285원/㎡으로 산정되어 개발공법의 자재비가 단위면적당 3,728원이 상승하는 것으로 분석되었다. 개발공법은 단열재와 마감재, 보강재는 동일하게 투입되고 접착제가 생략되거나 골조와 단열재의 일체타설을 위해 개발된 고정핀 비용이 약 760% 증가하고 고정구 설치를 위한 단열재 가공비가 약 11%증가하여 전체적으로 자재비용이 10% 증가한 것으로 나타났다.

노무비는 개발 공법이 17,182원/㎡, 기존 공법이 38,229원/㎡으로 산정되어 개발공법의 단위면적당 인건비가 21,047원 더 낮은 것으로 분석되었다. 기존의 공법은 단열재 접착에 내장공이 필요한 반면 일체타설 공법은 수직거푸집에 단열재를 부착하는 작업을 목공이

Table 5. Cost comparison between existing method and concurrent method

Cost item	Existing method (a)				Concurrent method (b)				Variation (b-a)	Variation ratio (b-a)/a%	
	unit price (won)	quantity	quantity unit	sum (won)	unit price (won)	quantity	quantity unit	sum (won)			
material	adhesive	6,148	110,923	m ²	681,936,315		110,923	m ²		-681,936,315	-100.00%
	insulation	22,440	110,923	m ²	2,489,110,145	25,000	110,923	m ²	2,773,072,800	283,962,655	11.41%
	fastener	960	110,923	m ²	106,485,996	8,276	110,923	m ²	917,998,020	811,512,024	762.08%
	mesh	1,437	110,923	m ²	159,409,535	1,437	110,923	m ²	159,409,535		
	finishing material	6,300	110,923	m ²	698,814,346	6,300	110,923	m ²	698,814,346		
	Sub total	37,285			4,135,756,337	41,013			4,549,294,701	413,538,364	10.00%
labor	Interior	10,133	110,923	m ²	1,124,026,236		110,923	m ²		-1,124,026,236	-100.00%
	Plasters	7,322	110,923	m ²	812,196,640	7,322	110,923	m ²	812,196,640		
	Labor	3,530	110,923	m ²	391,531,369	3,530	110,923	m ²	391,531,369		
	Carpenters		110,923	m ²		5,573	110,923	m ²	618,182,262	618,182,262	100.00%
	Polishers	16,486	110,923	m ²	1,828,727,261		110,923	m ²		-1,828,727,261	-100.00%
	Painters	757	110,923	m ²	83,990,119	757	110,923	m ²	83,990,119		
Sub total	38,228			4,240,471,626	17,182			1,905,900,391	-2,334,571,235	-55.05%	
equipment	Gondola	162,000,000	4.5	month	729,000,000					-729,000,000	-100.00%
	System					111,600,000	13	month	1,450,800,000	1,450,800,000	100.00%
	Sub total				729,000,000				1,450,800,000	721,800,000	99.01%
Total				9,105,227,963				7,905,995,092	-1,199,232,871	-13.17%	

수행한다. 목공의 인건비가 내장공보다 높으나 접착작업에 필요한 인력이 부착작업보다 많기 때문에 단위면적당 인건비는 기존 공법이 더 높다. 또한 일체타설 공법은 골조외부의 면정리 작업이 필요없기 때문에 견출공의 절감이 가능하다. 이런 이유로 적층시공 공법의 노무비는 기존 공법보다 55% 절감되는 것으로 나타났다.

장비비는 적층시공 가설시스템을 사용하는 공법이 1,450,800,000원, 곤돌라를 사용하는 기존 공법이 729,000,000원으로 산정되었다. 곤돌라와 가설시스템은 임대장비로 적용기간에 따른 임대비용을 기준으로 산정했으며 적층시공 가설시스템의 경우 기존의 가설시스템인 GCS에서 외단열 공사로 인해 증가하는 부분에 대한 비용만을 산정하였다. 적층시공 가설시스템은 기존의 GCS에 비해 하부발판 수가 1단 증가하며 연장 슈 연장부재와 하부오염 방지장치 추가로 약 15%의 비용이 증가하는 것으로 분석되어 한 유닛의 월 임대비용인 2,000천원의 15%인 300천원을 외단열 적층시공 가설의 추가비용으로 산정하고 여기에 모든 동에 적용되는 전체 유닛수를 곱하여 비용을 계상했다. 이에 외단열 공사를 위한 적층시공 가설시스템 비용은 곤돌라를 사용한 공법에 비해 721,800천원이 증가하여 장비비가 기존공법보다 약 99%가 증가하는 것으로 나타났다.

전체공사비는 기존 외단열 공법이 9,105,227,963원, 적층시공 공법이 7,905,995,092원으로 산정되어 적층시공

공법이 기존 공법에 비해 1,199,232,871원의 비용절감 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 적층시공의 장비비가 기존 공법에 비해 90%이상 크게 증가하지만 전체 공사비에서 차지하는 비중이 낮고, 가장 금액 비중이 높은 노무비에서 견출공과 내장공이 줄어 55%가 절감되면서 전체적으로 기존 공법에 비해 약 13%의 비용절감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

5. 결 론

외단열 공법은 공동주택의 에너지 절감을 위한 핵심 기술이지만 기존 내단열 공법과 대비하여 추가되는 공사비와 공사기간은 외단열 공법의 활성화를 저해하는 주요 요인으로 작용하고 있다. 본 연구는 외단열 공동주택의 공기단축과 공사비 절감을 위해 외단열 적층시공공법의 개념모델을 개발하고 공법의 타당성을 검증하기 위해 사례적용을 통해 기존의 외단열 공법과 비교분석을 수행하였다. 그 결과 외단열 공사를 연속적으로 시공하면서 후속공정인 도장공사가 조기에 착수되어 공기단축의 효과를 나타냈으며, 공사비 또한 장비비용은 증가하였지만 노무비가 크게 감소하여 기존의 외단열 공법보다 공사비 절감의 효과를 나타내었다.

본 연구를 통해 개발된 공법 개념안은 공사비 절감과 공사기간 단축 효과 외에도 단열재와 골조의 동시타설을 통해

접착 성능을 강화시켜 단열재의 품질을 향상시킬 수 있다. 또한 외부 기후에 영향을 받지 않는 넓고 안정된 작업환경의 제공을 통해 안전사고 발생 가능성을 낮출 수 있다.

본 연구는 공동주택용 외단열 적층시공공법 개발의 초기 단계로, 추후 본 연구의 결과물인 개념모델을 기반으로 외단열과 가설시스템을 개발에 관한 연구를 진행할 예정이며 각 시스템의 효과인 공기와 비용의 명확한 분석을 위해 데이터의 근거한 시뮬레이션 분석과 현장적용을 통한 실제 효과에 대한 분석에 관한 연구가 추가적으로 요구된다.

요 약

공동주택의 에너지 의무 절감률이 현재 40%에서 2017년에는 60%까지 단계적으로 상향 조정되면서 에너지 절감을 위해 외단열 공법이 주목받고 있다. 그러나 기존 외단열 공법은 내단열 공법에 비해 추가되는 공사비와 공사기간으로 인해 활성화가 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 외단열공사와 골조공사를 연속적으로 시공함으로써 공사기간을 단축하고 공사비를 절감할 수 있는 외단열 적층시공 공법의 개념 모델을 개발하고 사례적용을 통해 공법의 타당성을 검증하였다. 연구결과 외단열 적층시공 공법은 기존의 외단열 공법에 비해 6.7%의 공기절감 효과와 13%의 외단열 공사비 절감효과가 있는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과인 적층시공 공법은 외단열 공법적용의 저해요소를 해결하여 향후 외단열 공법 활성화에 기여할 것으로 기대된다.

키워드 : 외단열, 적층시공, 공동주택, 가설시스템

Acknowledgement

This research was supported by a grant(14CTAP-C07804 0-01) from Technology Advancement Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

References

1. New Apartment, Energy Reduction Ratio Improvement to 40% from 2015 Mar [Internet]. Seoul (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2014 Dec 29 - [cited 2015 Apr

- 27]. Available from: http://www.mltm.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?id=95075064.
2. Lee WH, Jeong MY, Baik H, Choi JH. Proposal of Advanced External Insulation System on Residential Buildings, *Building Construction*, 2014 Dec;14(4):56-60.
3. Park CY. A Case Analysis for Applying External Insulation System on Residential Buildings, *Building Construction*, 2014 Dec;14(4):60-5.
4. Choi JS. The Role of Construction Firm in External Insulation construction - A Proposal for the Promotion of External Insulation System on Residential Buildings, *Building Construction*, 2014 Dec;14(4):66-9.
5. Song SY, Koo BK, Choi BH. Insulation Performances of the Typical Floor's Front Wall-slab and Side Wall-slab Joints of Apartment Buildings with Internal and External Insulation Systems, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 2008 Aug;24(8):277-84.
6. Shin HW, Kim GH, Kim JY, Cho HK. A Research on a Comparison between the Strength and Weakness of Each Formwork Methods in the Core Wall Construction, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2007 Dec;7(4):153-9.
7. EIFS Wall System [Internet]. Atlanta (USA): Sto Corp. 2010 - [cited 2015 Apr 27]. Available from: <http://www.stocorp.com/>.
8. Lee SH, Yee JS, Lim JY.. An Analysis of the Temporary Equipment for activation of applying EIFS, *Proceeding of Spring Conference of the Architectural Institute of Korea*, ; 2011 Apr 30; Seoul, Korea, Seoul (Korea): The Architectural Institute of Korea; 2011, 189-90.
9. System Formwork-Climbing System [Internet]. Seoul (Korea): Kumkang kind Corp. 2008 - [cited 2015 Apr 27]. Available from: <http://www.kumkangkind.com/>.
10. Kang HM, Yi JS. A Suggestion on the Design-Build Integrated Management for Revitalization of Exterior Insulation and Finishing System(EIFS) - Based on the Case Study of Apartment Housing, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 2012 Nov;28(11):157-66.
11. Choi MJ, Park MS, Lee HS, Lee KP. Resource Optimization for Preventing Time-overrun in a High-rise Building Project Using Layer Construction Method, *Proceeding of Autumn Conference of the Architectural Institute of Korea*, ; 2011 Oct 29; Seoul, Korea, Seoul (Korea): The Architectural Institute of Korea; 2011, 383-4.