

석재 외피 시공을 위한 알루미늄 빔 지지공법 연구

A study on the Aluminium Beam Methods for Building a Stone Finished Envelope

김 장 옥* 이 영 래** 홍 성 옥*** 도 선 봉**** 이 한 승*****

Kim, Jang-Ook Lee, Young-Lae Hong, Seong-Wook Doh, Sun-Boong Lee, Han-Seung

Abstract

In recently constructed building, It has become fashionable again that the heavy external skin system such as a Stone Finished Envelope, There are Squared Steel Pipe Methods, C-Shaped Steel Pipe Methods, and Aluminum Beam Methods in the structure of a heavy external skin system. The Aluminum Beam Methods is often misunderstood as a Plane Truss Structure, but this method is not appropriate to be called to a truss structure but a beam methods. The Aluminum Beam Methods is the most Eco-friendly methods in terms of Quality assurance, Efficiency, Safety, Construction period, Durability, and Recyclability. And this Methods is also very appropriate in considering the point of Energy conservation, Waste reduction, Long-life architecture, Replacement parts, Environmental protection, Public efficiency, and Building demolition.

키 워 드 : 석재외장, 석빔, 중량 건축마감재

Keywords : stone finished, aluminum beam, heavy external skin system

1. 서 론

1.1 연구의 목적

석재, 유리 등 중량이 나가는 패넬재료로 건축 내외장 마감을 하는 경우에 있어, 시공품질, 작업효율, 안전성, 공사기간, 내구성, 재활용성 등에서 유리한 비철금속재 지지공법에 대한 관심이 높아져 가고 있다.

대리석, 화강석 등의 천연석재나 인조 석재 등을 내외장 마감재로 시공하는 경우에 있어 종래 주로 채택했던 시멘트 모르타르 등의 접착제를 이용한 부착방식은 마감석재가 탈색되거나 모르타르의 석회성분이 대기 중의 탄산가스와 결합하여 백화현상을 발생시키는 등의 문제로 인하여 개선이 요구되어 왔다.

부착력을 증대시키고 생산성 및 품질 향상을 위하여 개발된 GPC(Granite Veneer Precast Concrete) 공법에 있어서도 백화현상 등 문제는 개선되지 못하여 근본적으로 시멘트 성분을 사용하지 않는 건식공법으로의 발전이 이루어져 왔다.

중량 마감재 부착 건식공법은 시공면에 앵커를 삽입하고 적절한 모양의 긴결철물을 고정 부착한 후, 중량 마감재에도 유사한 방식으로 긴결철물을 설치하여 볼트로 조이는 간단한 방식에서

시작하여, 시공품질을 향상시키며 시공성을 높이기 위해 별도의 강재 프레임을 벽면에 설치한 후 프레임에 용접접합으로 긴결철물을 부착하고 여기에 중량 마감재를 연결 설치하는 방식이 시도되었다. 별도의 강재 프레임을 벽면에 설치하는 공법은 부재 공장 생산 방식을 취하기에 용이하여 많이 보급되었으나, 용접공정에서 파생되는 화재위험, 낮은 생산성, 현장작업량 과다, 공기단축 곤란 등의 문제점과 함께 작업자의 숙련도 필요, 용접부위에 대한 방청처리 등의 추가문제도 고려해야 한다.

방청처리 부위가 완벽하지 못한 경우 결로가 맺히면 부식이 진행되어 보수작업이 필요하게 되나 마땅한 대응책이 없으므로 시간이 지남에 따라 문제가 증폭될 가능성이 높다. 또한 인력으로 다루기에 버거운 무게의 철재 프레임은 현장 생산성 증대나 공기 단축에 부정적 영향으로 작용하게 된다.

비철금속 빔(Beam) 지지공법은 철재 각관을 용접하여 구성하는 기존 공법의 문제점을 알루미늄과 같이 부식의 우려가 적은 비철금속을 이용하여 휨모멘트에 효과적으로 저항하는 단면 형상의 빔(Beam)체계를 구성함으로써 개선, 해결하는 공법이다.

이전의 철재 각관 용접공법은 용접한 부위의 위치를 변경해야만 시공오차가 다소 큰 변위의 패넬 조정, 각도 변경 등이 가능하므로, 작업효율 제고, 시공품질 확보, 그리고 공사기간을 단축하는 데 있어 한계를 가질 수밖에 없었다. 또한 용접하는 과정에서 기존 벽체 등 인접부재에 화재의 개연성을 상존케 함으로써 안전 관리에도 문제가 있었으며 친환경건축에서 요구되는 부재의 재이용성이나 내구성 면에서도 한계가 많았다.

* 디지털서울문예대 친환경건축과 교수, 교신저자 (jokim@scau.ac.kr)

** 주식회사 일산건축, 본부장

*** 상지엔지니어링건축사사무소 이사, 공학박사

**** 토문엔지니어링건축사사무소 이사, 공학박사

***** 한양대학교 건축학부 교수

이에 본 연구에서는 기존의 철재 각관 용접공법의 한계를 비철 금속 빔 지지체계로 개선함에 있어, C형 철재각관과 스프링 볼트를 이용한 개선공법과 알루미늄을 사용하는 비철금속 빔(Beam) 지지공법과의 비교 검토 그리고 열교현상을 차단하는 덧씌움 연결재에 대해 제안하였고 향후 현장 활용성 조사를 토대로 기술개발을 통한 지속적인 발전을 이루고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 기존의 철재각관 이용 용접방식의 내외장 중량 마감재 마감공법의 한계를 시공품질, 작업효율, 안전성, 공사기간, 내구성, 재활용성에 대해 친환경 건축시공에서의 7가지 고려사항에 비추어 검토하였다. 즉 ①에너지 소모를 줄이며 시공, ②폐기물이 덜 발생하게 시공, ③오래 사용할 수 있게 시공, ④부분교체가 용이하도록 시공, ⑤주변 피해를 줄이며 시공, ⑥공공 생산효율 저하를 줄이며 시공, ⑦철거가 용이하도록 시공의 7가지 고려에 대해 재료, 구법, 공법 면에서 한계를 검토하였다.

또한, 본 연구에서는 기존의 비철금속 빔 지지체계의 내외장 중량 마감재 마감법의 적용성에 대해서도 시공품질, 작업효율, 안전성, 공사기간, 내구성, 재활용성에 대해 친환경 건축시공에서의 7가지 고려사항에 비추어 검토하였다.

특히 개선된 비철금속 빔 지지체계의 적용성을 검토함에 있어서는 알루미늄 비철금속 빔 지지공법의 구조적 활용성과 리모델링 공사의 효과적인 시공성을 고찰하였으며, 빔 지지체를 벽체에 긴결할 때 발생하는 단열재와의 접촉부에서 나타날 수 있는 열교 현상을 효과적으로 해결하도록 부품을 추가 지원하는 연구과정도 포함하였다.

2. 철재 프레임공법의 한계 고찰

2.1 공법 명칭의 검토

석재, 유리 등 중량이 나가는 패널재료로 건축 내외장 마감을 하는 경우에 있어, 시공품질, 작업효율, 안전성, 공사기간, 내구성, 재활용성 등에서 유리한 비철금속 지지공법에 대한 관심이 높아져 가고 있다. 이는 철재 각관을 용접하여 구성하는 기존 공법의 문제점을 알루미늄과 같이 부식의 우려가 적은 비철금속을 이용하여 휨모멘트에 효과적으로 저항하는 단면 형상의 빔(Beam) 체계를 구성함으로써 개선, 해결하는 공법이다.

이 같은 공법에 대해 공사현장을 중심으로 석빔 트러스, 강제 트러스 등으로 불리는 경우가 있는데, 이는 트러스(Truss)구조에 대한 명확한 개념 없이 유사한 금속재료의 사용과, 용접 등 제작 과정이 같아서 붙여진 것으로 여겨진다. 즉, 그림1과 같은 철재 각관 재료로 경량 철골구조를 제작하는 일선 시공업체 측에서 구조법에 대한 체계적 고려 없이, 단지 재료, 형태, 그리고 제작방법의 유사성만을 취하여 트러스(Truss)라고 부르고 있으나 건축

구조 및 시공 관점의 정확한 표현은 아니다.

트러스(Truss)란 여러 개의 직선 모양의 부재들을 한 개 또는 그 이상의 삼각형 형태로 배열하여 각 부재를 절점에서 연결되게 구성한 뼈대 구조를 일컫는다. 트러스에 하중이 재하되면 이에 대응하는 부재 축방향 응력(Stress)이 1차적으로 분산 작용하게 되며, 다시 절점에 모여져 구속되어 있는 부재들이 균형을 이루며 이에 대응하는 2차 응력이 발생하게 된다. 건축공학 관점에서는 이 같은 응력에 따른 구조해석을 위해 이상적 트러스 구조로서의 조건 몇 가지를 가정하는데, 먼저 부재들은 마찰이 없는 핀으로 연결되어 있으며 부재의 모양은 직선이라는 가정이다.



그림 1. 경량 철재 트러스 예



그림 2. 트러스 절점 예

따라서 안정한 삼각형 형태를 이루며 부재들은 축방향력만이 고려되고, 휨모멘트에 대응하거나 휨모멘트를 전달하지 않는 것으로 정의된다. 다음으로는 모든 하중과 반력은 절점에서만 작용하며, 하중으로 인한 부재의 변형은 없는 것으로 가정한다. 물론 실제에 있어서는 핀으로 가정하는 절점이 그림2와 같이 강접합을 이루게 되지만 직선형 부재에서 축방향 응력만이 고려되고 휨모멘트 응력은 무시되는 기본 가정은 그대로 지켜진다.

하지만 본 연구의 대상인 비철금속 빔(Beam) 지지공법의 경우에는 트러스 프레임 구성하기 위한 수평재 없이 수직재 만으로 중량 마감재를 설치하는 공법이 적용된다. 그림3의 현장은 경의선 용산~문산 복선전철의 서강정거장으로, 내장마감을 위해 알루미늄 빔(Beam) 지지공법이 적용되었다. 그림4의 상세 사례에서 보는 것처럼 수평재는 물론 경사재도 없이 오로지 수직 알루미늄 빔(Beam)재만으로 석재와 같은 중량마감재를 시공하였다.



그림 3. 수평재 없는 빔지지 공법 사례



그림 4. 수직 빔지지 공법 상세 사례

또한, 수직 알루미늄 빔(Beam)재에는 기본적으로 평면 트러스 구조를 구성하는 여타의 직선형 재료가 수반되지 않으며 콘크리트 벽면에 고정된 앵커부와 이에 연결된 긴결철물(Fastener)에

의해 수직 알루미늄 빔(Beam)재에 휨모멘트가 주응력으로 발현됨으로써 중량마감재가 지지되게 된다.

따라서, 일부 경량철골 시공업체에서 사용하기 시작한 강재 트러스, 석빔 트러스 등의 지칭은 적절하지 않으므로 본 연구의 제목과 같이 빔(Beam) 지지공법, 또는 석빔(Beam)공법 등의 용어를 사용하는 것이 적절하다. 전통적으로 빔(Beam)재는 수평재의 보를 지칭하였으나, 전통 가구식 구조에 있어서도 세로보(Stringer)라고 하여 수직방향 빔(Beam)재의 용어로도 사용되었으므로 부재의 구조적 활용에 무게를 두어 휨모멘트에 대응하는 세로방향의 빔(Beam)재로 지칭하여도 문제되지 않을 것이다. 따라서, 본 연구에서는 빔(Beam) 지지공법, 석빔 공법 등의 용어를 사용하였다.

2.2 설치공법의 종류 고찰

주요구조체로 석재를 사용하여 조적식으로 구성하는 경우를 제외하고, 콘크리트 구조 등의 벽체에 커튼월 방식으로 석재와 같은 중량마감재를 부착하는 방식은 아래 그림5와 같이 크게 3가지로 구분하여 볼 수 있다.

첫째로, 벽체에 앵커를 심고 여기에 적절한 긴결철물(Fastener)를 설치한 후 그림5 좌측의 앵커 긴결공법과 같이 중량마감재의 시공에 있어서도 같은 원리를 적용하여 2차 긴결철물을 삽입하고 볼트로 체결하는 공법이 있다.

둘째로, 본 연구의 대상인 빔(Beam) 지지공법으로 아래 그림5의 중앙에서와 같이 구조체인 기둥이나 벽체에 적절한 1차 긴결철물(Fastener)을 설치하고 여기에 빔(Beam)재를 설치한 후, 부착되는 중량마감재에도 같은 원리로 2차 긴결철물을 삽입하고 볼트로 체결하는 공법이다.

벽체부에 1차 긴결철물 설치를 위한 방법으로는 앵커 공법을 사용할 수도 있으며, 구조체 콘크리트 타설 이전에 미리 정착 철근 등 철물을 매입하여 두었다가 양생 후 여기에 용접 등의 방법으로 빔재를 연결하는 공법이 적용되기도 한다.



그림 5. 중량 건축마감재 부착 공법의 종류

셋째로는 그림5의 우측에서와 같이 구조체와 중량마감재가 일체식으로 고정되는 GPC(Granite Veneer Precast Concrete)공법이 있다. 석재 등 중량마감재의 뒷면에 그림5의 우측 그림에서와 같이 고정용 철물을 미리 부착한 후 콘크리트 타설용 거푸집

내측에 이를 배열한 후 콘크리트를 타설하여 일체화 하는 방식인데 최근에는 흔히 사용되지 않는 공법이다.

2.3 철재 프레임 공법의 한계

앵커 긴결공법은 벽체부에 앵커작업을 많이 해야 하고 앵커작업이 곤란한 지점에는 하중지지가 제대로 안되어 이를 보장하는 설계가 요구되는 문제점과 함께 설치 대상 벽면의 고른 정도가 심하게 불규칙할 경우 작업자의 생산성 저하를 야기하고 품질관리에도 나쁜 영향을 미치므로 소규모 공사를 제외하고는 거의 사용되지 않는 추세이다.

마감재 일체화 공법도 콘크리트의 알칼리 성분으로 인해 마감재가 탈색되거나 모르타르의 석회성분이 대기 중의 탄산가스와의 결합하여 백화현상을 발생시키는 등의 문제로 중량마감재의 부착력을 특별히 증가시켜야 하는 경우를 제외하고는 거의 사용되지 않고 있다.

가장 일반적으로 채택되는 중량마감재 시공법은 철재 프레임 공법인데 이 또한 여러 가지 심각한 문제발생 개연성으로 개선이 필요하다. 별도의 강재 프레임을 벽면에 설치하는 일종의 강재 빔(Beam) 지지공법은 용접공정에서 파생되는 화재위험, 낮은 생산성, 현장작업량 과다, 공기단축 곤란 등의 시공단계에서의 문제점과 함께 방청처리 부위에 결로가 발생함에 따른 부식으로 안전상의 위험은 물론 적절한 보수방법이 없는 관계로 시간이 지남에 따라 문제가 증폭될 우려가 높다.

3. 중량 건축마감재 공법 개선

3.1 빔(Beam) 지지 공법의 분류

빔(Beam)지지 공법은 시공성 면에서 우수하여 가장 일반적으로 사용되는 추세인데, 이는 3가지 유형으로 구분 고려될 수 있다. 즉, ①각형의 강재를 사용하는 강재 용접방식의 프레임 형성 빔 지지공법과 ②각관의 한 면 중앙부에 길이방향의 홈 줄이 있는 형태의 C형 각관에, 홈 줄을 따라 이동이 가능한 스프링 볼트를 체결하는 방식의 빔 지지공법, 그리고 본 보고서에서 연구대상으로 하는 ③비철금속 빔(Beam)지지공법으로 구분이 가능하다.

석재와 같은 중량마감재 시공에 있어 기본적으로 중요한 안전성을 고려한다면 실제로 구조적 거동에 가장 큰 영향을 미치는 휨모멘트에 대항하는 재료의 응력이 충분히 확보되어야 한다. 빔(Beam)지지공법에 사용되는 부재에 휨모멘트 응력이 확보되려면 재료 자체의 강성과 함께 단면2차모멘트와 단면계수 등이 고려되어야 하므로, 재료자체의 강성 면에서 우수하면서도 재료의 가격이 상대적으로 저렴한 아연도금 또는 광명단 도포 철재 각관을 사용하는 ①용접방식의 프레임 형성 빔 지지공법이 먼저 사용된 것은 어떻게 보면 당연하다. 그러나 용접방식의 프레임 형성 빔 지지공법은, 재료의 자중이 상대적으로 무겁고, 현장에서 재단작업

을 하는데 있어 생산성이 떨어지며, 용접작업에 있어서도 연계 공정으로 시공되는 단열재를 손상시키며 화재의 위험이 있는 등 여러 가지 문제점이 있어 개선이 요구되어 왔다.

이에, 철재 각관 대신 C-형 각관을 사용하여 중앙부의 길이방향 홈 줄에 스프링 볼트를 체결하는 ②C-형 철재각관 빔 지지공법이 고안되었다. C-형 철재각관 빔 지지공법은 용접방식의 프레임 형성 빔 지지공법에서 문제시 되었던 용접작업을 스프링 볼트와 긴결철물(Fastener)로 대체하여 화재의 위험과 단열재 손상 등을 개선하였으나, 철재 재료 자체의 무거움에서 유래하는 작업자의 부담으로 인한 작업능률 저하와 현장에서 재단작업을 하기에 무리가 있어 생산성이 떨어지는 점, 그리고 공기 중에 노출된 금속 부재에 발생하는 결로현상에서 유래하는 부식방지 고려의 필요성 등 내구성 대응부담과 함께 재활용성 등 비환경적 문제점 등에서 여전히 개선을 요구받아 왔다.

이 같은 문제점을 해결하면서 시공품질, 작업효율, 안전성, 공사기간, 내구성, 재활용성 면에서 가장 우수한 것으로 평가되는 공법이 ③비철금속 빔(Beam)지지공법이다.

비철금속 빔(Beam)지지공법에서 사용되는 빔(Beam)의 대표적인 재료는 알루미늄이다. 알루미늄 각관은 철재 각관에 비해 재료 자체의 강성과 자재비 면에서는 다소 불리하지만, 휨모멘트 응력을 효과적으로 발휘할 수 있도록 그림6의 오른쪽과 같은 단면 모양으로 극복하고, 인건비 등 전체적인 시공비 절감으로 자재비의 불리함을 극복함으로써, 시공품질, 작업효율, 안전성, 공사기간에서의 유리함은 물론, 오픈조인트 공법을 적용하면서도 내구성 확보에 유리하고, 재활용성도 우수한 공법으로 평가된다.

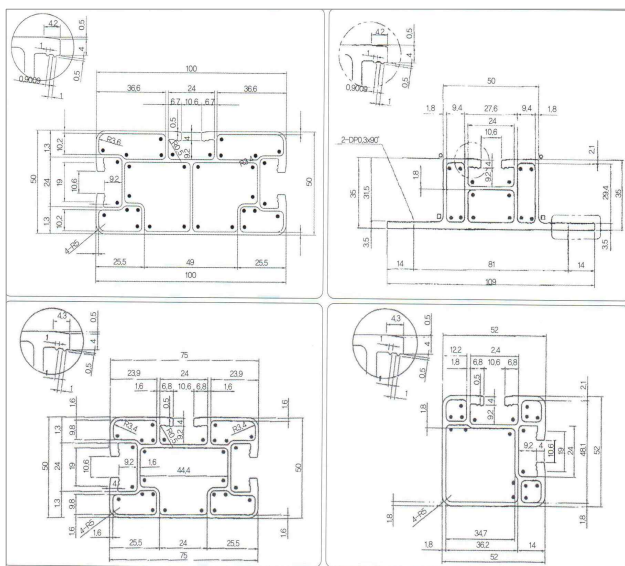


그림 6. 알루미늄 각관 단면형상의 예

알루미늄 빔(Beam)지지공법에서의 알루미늄 빔(Beam) 부재는 재료의 혼합비율을 조정하거나 금형 노즐의 형태를 변경하여 시출 성형함으로써 현장에서 요구하는 다양한 휨모멘트 및 전단

력에 대응이 가능한 부재생산이 가능하며 현장의 요구에 맞춤형의 공장생산으로 자재의 손실을 최소화 할 수 있다.

알루미늄 빔(Beam)지지공법에 대해 우려하는 볼트의 풀림이나 긴결부의 미끄러짐에 따른 하자나 안전사고의 개연성에 대해서는 볼트의 역풀림 방지를 위한 후렌치 너트의 사용과 긴결부 미끄럼 방지를 위한 알루미늄 빔의 깔쭉이 홈으로 강접합과 동일한 결합시공을 이루어 문제발생을 근본적으로 차단하였다.

알루미늄은 재료자체의 특성 상 비철금속 빔(Beam) 지지공법을 구성하는 부재로서 매우 적합한데 다음과 같은 적합성이 고려될 수 있다. 알루미늄은 가볍고 녹슬지 않으며 자기장의 영향을 받지 않고, 비교적 지구상에 풍부하게 존재하여 구하기 쉽다. 또한, 그림6에서와 같이 최적의 단면2차모멘트와 단면계수를 반영한 빔(Beam)부재의 효율적 생산이 가능하고 가공효율도 높아 전체적인 생산성 및 시공성이 우수하다. 빔(Beam)지지공법 관련 알루미늄 재료의 적합성은 표1과 같이 요약된다.

표 1. 빔(Beam)지지공법 관련 알루미늄 재료의 적합성

기능	알루미늄 빔(Beam)재료의 적합성
가공성	<ul style="list-style-type: none"> - 압출, 압연, 단조, 성형 등 소성가공에 유리하여 생산성 높은 다양한 단면의 빔(Beam) 부재 압출생산에 적합 - 절삭 가공성이 우수하여 공장에서의 빔(Beam) 부재 생산을 위한 재단작업에 유리 - 공사현장에서 작업자로 하여금 일부 수정재단, 자투리 부재 사용을 위한 절단작업에 유리
내식성	<ul style="list-style-type: none"> - 대기 중의 산소와 반응하여 표면에 얇고 치밀한 산화 피막을 형성함으로써 지속적인 부식을 방지하여 오랜 기간에 걸쳐 초기강도를 유지할 수 있음 - 내식 특성에 강도 특성을 추가한 알루미늄 합금의 개발 및 생산도 유리하여 빔(Beam)부재 생산에 적합함 - 알루미늄, 마그네슘, 규소와의 합금인 6061, 6063 계열의 알루미늄 합금은 건축, 토목분야에서 널리 활용됨
표면처리	<ul style="list-style-type: none"> - 양극산화 피막처리과정으로 다양한 색상 반영, 경도 증가, 내식성 증가도 가능함 - 양극산화 피막처리로 자연발색, 전해착색 등으로 미려한 다채색 처리가 가능할 뿐 아니라 특히 빔(Beam)지지공법 적용에서의 밴드나 T볼트의 굽힘 및 미끄럼 방지 기능 적용에 유리함
재활용성	<ul style="list-style-type: none"> - 알루미늄을 추출하는 에너지의 3%만을 투입해도 알루미늄 재료의 재활용이 가능하므로 재활용성이 매우 높음 - 산화 저항성이 크고 용융에 의해 재활용이 가능함
비자성	<ul style="list-style-type: none"> - 자기장의 영향을 받지 않으므로 정보기술을 이용한 자동제어설비 등의 운용에 적합함 - 전자파로 인한 통신회선의 간섭 등의 영향 저항에 유리함
저온강도	<ul style="list-style-type: none"> - 심한 저온 상태에서도 취성파괴를 일으키지 않으므로 기후변화에 따른 이상 한파의 경우에 있어 안정성 면에서 유리함

3.2. 용접방식 철재각관 공법의 한계

1) 시공품질 확보 미흡

용접방식의 철재각관 공법은 숙련 용접기능공이 아니면 품질확보에 큰 차질을 빚는다는 점이 가장 큰 문제이다. 용접과정으로 불가피하게 생기는 오차를 최소화하기 위해서는 숙련된 작업자가 반드시 필요하며 비숙련공의 경우 용접부위를 변경해야만 수정이 가능한 비교적 큰 간격조절, 오차수정 작업에 봉착하는 경우 품질에 치명적 영향을 미치게 되므로 시공품질을 보다 높일 수 있는 대안이 요구된다.

2) 작업효율 제고 미흡

용접방식의 철재각관 공법은 작업효율 면에서도 공기단축에 어려움이 있다. 용접방식의 철재각관 빔 공법은 철재의 무게가 작업자에게 부담이 되는 무거운 수준이므로 현장에서의 운반이나 설치위치로의 고정작업 등에 있어 인체공학적인 정상 작업동작이 이루어지기 어렵다. 또한 재료인 철의 특성상 공장생산 과정에서 다양한 각관 형태로 주문생산 되기 어렵고 현장에서의 철재 빔 재단에도 비교적 시간과 소모성 장비부품이 많이 소요되므로 작업효율을 보다 높일 수 있는 대안이 요구된다.

3) 안전성 확보 미흡

용접방식의 철재각관 공법은 각관 간의 연결 및 긴결철물 부착부위의 접합공법이 용접인 관계로 용접작업 주변의 보온단열재 등 건축자재에 불통을 옮겨 화재를 일으킬 개연성이 매우 높다. 실제로 각관 용접 중 일어난 화재사고는 많이 보고되고 있으며 이에 대한 안전성 확보는 매우 필요하다. 또한, 용접방식의 철재각관 빔 공법에서 철재각관이 용접되는 부위는 부식의 우려가 매우 높다. 작업시방에 의하면 용접부위는 반드시 방청 작업을 하도록 되어있으나 현실적으로 작업완성도의 사후 확인이 곤란하고, 석재마감재의 장기 하자보수 내역을 살펴볼 때 고층건물의 외장재가 부식에 따른 균열 등으로 이탈될 개연성은 적지 않다. 이와는 별도로 용접방식의 철재각관 빔 공법은 작업자의 안전상에도 문제가 있다. 용접에 따른 문제 외에 철재각관의 길이와 이에 비례하는 중량은 고층부에서 충분한 지지대 없이 작업하는 작업자에게 항상 안전상의 주의를 필요로 한다.

4) 공사기간 단축 미흡

용접방식의 철재각관 공법은 품질관점에서의 개선요구 검토에서와 마찬가지로 숙련 용접기능공이 아니면 공기단축이 불가능하고, 용접과정으로 불가피하게 생기는 오차를 비숙련공이 용접부위 변경으로 수정하고자 하는 경우 공사기간의 단축은 더욱 어려워진다. 또한 철재 빔을 공장에서 생산하는 과정에 있어 다양한 각관 형태로 주문생산 되기 어렵고 현장에 이송된 이후에 현장의 요구에 맞게 여러 종류의 부재 형태로 철재 빔을 재단하는 경우에도 비교적 시간이 많이 소요되므로 공기단축을 위해서는 개선공법이 요구된다.

5) 내구성 향상 미흡

용접방식의 철재각관 공법에서는 작은 진동의 경우에도 철재 빔의 진동충격이 그대로 외장 중량마감재에 전달된다. 외장 마감재가 중량 석재인 경우 석재간의 이음새 부분의 방수 등에 문제를 발생시켜 내구성에 문제를 일으킬 가능성이 높다. 이렇게 벌어진 틈 사이로 빗물 등 습기가 공급됨으로써 철재각관 용접부위는 부식진행 속도를 더 빠르게 할 수 있다. 여름과 겨울이 반복되면서 동절기의 동결팽창은 벌어진 틈을 더욱 확장하며 동시에 철재각관의 취약부위를 더욱 약하게 한다. 특히 오픈조인트 공법 적용 시에는 이 같은 우려가 더욱 심각히 고려되어야 한다. 물론 작업시방서에는 방청 작업을 철저히 하도록 단속하고 있으나 실제로 방청 작업이 얼마나 완벽하게 이루어졌는지를 공사 후에 정확히 확인하기 어려우므로 이로 인한 내구성 저하에 대한 개선은 반드시 필요하다.

6) 재활용성 향상 미흡

용접방식의 철재각관 공법에서 철재 각관을 재활용하려면 일반 구조물의 철거와 동일한 방식으로 해체 후 고철만을 수습할 수밖에 없다. 용접된 철재각관을 산소절단기로 절단하여 고철로 수집, 재활용하는 것인데 물리적, 화학적 상태를 변화시키지 않고 부재를 그대로 분해조립 방식으로 재활용하는 개선이 요구된다.

3.3. C-형 철재 빔 공법으로의 개선과 한계

1) 시공품질 확보 관점

사각철재 각관 대신 C형 철재각관을 사용하여 중앙부의 길이방향 홈 줄에 스프링 볼트를 체결하는 C형 철재각관 빔 지지공법은 용접방식의 프레임 형성 빔 지지공법에서 문제시 되었던 용접작업을 스프링 볼트와 긴결철물(Fastener)로 대체하여 시공품질 향상에는 비교적 양호하나 재료의 무거움으로 인한 작업자의 부담에 따른 품질저하 영향을 미칠 수 있다는 점이 단점이다.

2) 작업효율 제고 관점

C형 철재각관 공법은 용접방식의 작업 비효율을 상당부분 개선한 면이 있다. 그러나 C형 철재 빔을 생산하는 과정에 있어 알루미늄과 같이 다양한 각관 형태로 주문생산 되기 어렵고 현장에 이송된 이후에도 현장의 요구에 맞게 여러 종류로 C형 철재 빔을 재단하는 경우에 있어서도 알루미늄과 같이 손쉽지 않으므로 작업효율을 극대화 하였다고 보기에는 어려움이 있다.

3) 안전성 확보 관점

C형 철재각관 공법은 용접공법에서의 화재 우려 등의 문제점은 개선되었으나 철재 재료 자체의 진동 흡수능력 미흡으로 장기간에 걸쳐 석재 간의 이음새 부분 방수에 문제를 일으킬 가능성이 높다. 이렇게 벌어진 틈 사이로 빗물 등 습기가 공급됨으로써 내부 C형 철재각관의 결로수분과 함께 부식진행 속도를 더 빠르게 한다. 특히 오픈조인트 공법 적용 시에는 이 같은 우려에 대해 더욱 심각히 고려할 필요가 있는데 이 같은 부식은 고층 건물의 중량마감재가 이탈, 낙하하는 상황으로 이어질 수 있으므로 다각적

인 검토가 필요하다. 또한 C형 각관의 홈 줄 부분은 스프링 볼트의 이동에 의해 굽힘이 생기게 되는 데 이에 대한 추가 녹막이 작업이 고려되지 않을 경우 안전성 문제의 심각도가 높아진다. 용접 공법과 마찬가지로 작업자 관점서는 철재각관의 길이와 이에 비례하는 중량으로 고층부에서 충분한 지지대 없이 작업하는 작업자에게 항상 안전상의 주의를 필요로 한다.

4) 공사기간 단축 관점

C형 철재각관 지지공법은 용접방식의 프레임 형성 빔 지지공법에서 문제시 되었던 용접작업을 스프링 볼트와 긴결철물(Fastener)로 대체하여 공사기간 단축에는 비교적 적절하나 재료의 무거움으로 인한 작업자의 부담에 의해 알루미늄 빔 지지공법과 같이 공기단축을 완벽히 지원하지는 못하는 한계가 있다. 또한 C형 철재 빔을 공장에서 생산하는 과정에 있어 다양한 각관 형태로 주문생산 되기 어렵고 현장에 이송된 이후에도 현장의 요구에 맞게 여러 종류의 부재 형태로 철재 빔을 재단하고자 할 때 알루미늄 빔에 비해 시간이 많이 소요되므로 공기단축 지원에 완벽하진 못하다.

5) 내구성 향상 관점

C형 철재각관 공법에서도 부재가 철재인 관계로 작은 진동도 철재 빔의 진동충격이 그대로 외장 중량마감재에 전달되게 되므로 외장 마감재가 중량 석재인 경우 석재간의 이음새 부분의 방수 등에 문제를 발생시켜 내구성에 문제를 일으키게 된다. 이렇게 벌어진 틈 사이로 빗물 등 습기가 공급됨으로써 C형 철재각관 용접 부위는 부식진행 속도를 더 빠르게 할 수 있다. 특히 C형 철재각관의 홈 줄 부위는 작업 중 오차수정을 위해 굽힘이 발생하게 되므로 이 부위의 부식에 대한 대응이 필요하다. 동결팽창과 결로 함습으로 이 같은 부식 진행부위는 더욱 취약해지게 되는데 오픈 조인트 공법 적용 시에는 작업시방서의 방청 작업과 별도로 이 같은 우려에 대해 심각히 고려해야 한다.

6) 재활용성 향상 관점

C형 철재각관 공법에서 C형 각관은 조립방식으로 연결되어 있어 재활용하는 데 다소 유리함은 있다. 그러나 재료 자체가 철재이므로 장기간의 부식으로 인해 스프링 볼트와 각관 홈 줄 연결부위는 스페너로 간단히 풀리기 어렵다. 따라서 알루미늄 빔 공법에서와 같이 조립해체 방식으로 완벽하게 수습하기는 곤란하고 재활용성은 그다지 높지 않을 것으로 예상된다.

3.4. 알루미늄 빔(Beam) 지지공법으로의 개선

1) 시공품질 확보 관점

알루미늄 빔(Beam) 지지공법은 중량 외장재의 휨모멘트 응력을 부담하는 수직 알루미늄 빔(Beam)재와 이와 직교하는 방향으로 장착되는 수평 알루미늄 빔(Beam)재가 복수개의 이동 가능한 홈 줄 부위에서 결합되도록 구성된다. 수평재는 프레임의 형상을 유지하고 수직재의 응력분담 및 벽체의 부착력을 강화하는 부수

적인 효과를 내며 대부분의 중량외장재 지지응력은 수직재가 담당하게 되므로 일부 현장에서는 수평재를 제외한 빔 지지공법이 적용된다. 중량 외장재는 평면상으로 뒤틀리는 힘을 지지할 필요가 없고 수직재와 수평재가 트러스(Truss)구조에서 나타나는 응력이 발휘되지 않으므로 수직재의 벽면 부착강도가 충분히 확보될 수 있는 현장이라면 수직재 만으로도 중량마감재 지지는 가능하다.

알루미늄 빔(Beam) 지지공법은 중량마감재의 간격조절, 오차수정에 유리하고, 일반 기능공이 스페너만으로도 가볍게 운반, 설치작업이 가능하며, 현장에서의 부재절단 등도 용이하므로 품질향상 관점에서 매우 유리한 공법이다.

2) 작업효율 제고 관점

알루미늄 빔(Beam) 지지공법은 공장에서 맞춤식으로 생산 및 재단된 상태로 현장에 공급되므로 공사현장에서는 조립 후 세우기와 벽면 고정작업 순으로 효율을 극대화 할 수 있다. 용접 없이 볼트체결 방식의 작업으로 생산성을 높일 수 있으며 무엇보다 무게가 철재의 1/3에 불과하여 작업자로 하여금 무거운 부재를 다루는 데서 오는 부담이 전혀 없고 이는 작업효율과 생산성 향상에 반영된다.

3) 안전성 확보 관점

알루미늄 빔(Beam) 지지공법은 용접공법에서의 화재 우려 등의 문제점은 물론 C형 철재각관 등 철재 재료의 진동 흡수능력 미흡에 따른 중량마감재의 이음새 부분 함습과 결로 수분으로 인한 부식 등에 대해 완벽하게 문제를 해결한 공법이다. 특히 오픈조인트 공법을 완벽하게 수용할 수 있으며 친환경 장수명 건축물이나 고층 건축물의 중량마감재 설치에 있어서도 최적의 공법으로 채택될 수 있는 매우 안전한 공법이다.

작업자의 안전에 있어서도 철재각관의 1/3의 중량으로 작업자의 심리적 육체적 부담이 덜하게 되므로 안전한 근로환경을 제공할 수 있다는 장점이 있다.

4) 공사기간 단축 관점

알루미늄 빔(Beam) 지지공법은 공장에서 다양한 각관 형태로 사출 생산되어 재단 후 공급이 가능하므로, 주문생산방식으로서의 현장적용에 매우 유리하다. 또한 현장에 이송된 후에는 일반적인 철골공사에서 사용되는 조립 후 세우기 공법 적용이 유리하여 공사기간을 획기적으로 단축할 수 있다. 또한 알루미늄 빔 재료는 절단, 천공 등 가공성이 매우 뛰어나므로 현장사정에 따라 특수한 건물부위를 위한 빔 부재 재단에도 매우 유리하여 공기단축 지원에 매우 적절하다.

5) 내구성 향상 관점

알루미늄은 산화피막을 형성시킴으로써 부식 안정도를 높일 수 있으므로 철재 각관이나 C형 각관에 비해 내구성을 현격하게 높일 수 있다. 특히 진동 흡수 능력이 뛰어나므로 철재 빔에서 나타나는 이음새 부분의 방수문제로 인한 내구성 악화에 효과적 대응

이 가능하다. 동결팽창과 결로 흡습으로 부재의 특수부위가 취약해지는 문제도 없으며 오픈조인트 공법을 적용하거나 바닷가 등 염분에 노출되는 지역에서도 별도의 방청작업 고려 없이 완벽한 내구성 확보가 가능하다.

6) 재활용성 향상 관점

알루미늄의 특성상 장기간의 사용에도 부식에 안정하므로 부재의 결속을 풀어 부재자체를 재이용 하는 방식으로서의 재활용이 가능하다. 일부 현장에서 이전의 공법에 익숙한 작업자들이 접합부위에 에폭시 등 접착제를 도포함으로써 나중에 부재 결속을 쉽게 풀어 재이용 하기에는 어렵다는 일각의 우려도 있으나, 긴결철물과 보울트 너트는 소모품으로 간주하고 알루미늄 빔부재만을 재이용하는 쪽으로 접근하면 효용성 높은 재활용이 가능하다.

이와 같이 시공품질, 작업효율, 안전성, 공사기간, 내구성, 재활용성을 중심으로 세 가지 빔 지지공법을 비교 검토한 결과, 알루미늄 빔 지지공법은 신축은 물론 리모델링, 에너지 효율개선 등 모든 건축 마감재공사에서 매우 효과적인 친환경공법임이 확인되었다.

부식의 우려가 매우 적은 비철금속 빔(Beam) 지지공법의 적용은 건축물 장기사용, 노후화에 따른 하자우려 대응에도 유리하며 시공기간을 단축하면서도 친환경 시공법 적용이 가능하므로, [표 3-2]에서와 같이 알루미늄을 사용하는 비철금속 빔(Beam) 지지공법이 용접방식의 프레임 형성 빔 공법이나 C형 철재각관 빔 공법에 비해, 일반 신축공사는 물론 리모델링 공사에도 매우 유리하며, 저층과 고층, 안전한 환경과 진동이 있는 환경 어느 곳이든 채택, 적용이 가능한 우수한 공법으로 판단된다.

4. 개선공법의 적용성

4.1 구조적 안정성 검토

알루미늄은 재료 자체의 특성 상 비철금속 빔(Beam) 지지공법을 구성하는 부재로서 매우 적합하다. 알루미늄은 가볍고 녹슬지 않으며 자기장의 영향도 받지 않는다, 따라서 작업 효율성, 안전성이 확보되면서 부식이나 진동에 의한 내구성 저하 문제에 효과적으로 대응이 가능하다.

표3에서와 같이 비슷한 단면치수의 아연도금 철재 각관과 단면 2차모멘트와 단면계수를 비교한 결과 알루미늄 석빔(Beam)부재의 휨모멘트 응력대응이 매우 절절한 것으로 확인되었다. 이를 부재의 중량을 감안하여 비교하면 알루미늄 석빔은 아연도금 철재 각관에 비해 2배 이상의 중량 응력효율을 발휘하는 것으로 확인된다.

표 3. 알루미늄 빔(Beam)과 철재 각관과의 비교표

품 명	단면치수		단위중량	단면적	단면2차 모멘트		단면계수	
	A * B	두께			I _x	I _y	Z _x	Z _y
	mm	mm	kg/m	cm ²				
아연도금 각관	50 * 50	2.3	3.34	4,252	15.9		6.34	
	75 * 50	2.3	4.24	5,172	38.9	17.6	10.4	7.82
	75 * 50	3.2	5.75	7,007	50.8	22.8	13.5	10.1
	100 * 50	2.3	5.14	6,552	84.8	29.0	17.0	11.6
알루미늄 석빔 (일산금속)	52 * 52	2~4.5	1.84	6,081	19,568	19,635	6,883	6,863
	75 * 50	2~4.5	2.11	7,768	48,690	22,724	12,984	8,749
	100 * 50	2~4.5	2.33	8,591	93,337	25,840	18,667	9,954

알루미늄 빔 부재는 이와 같이 단위 중량 당 높은 구조적 안정성이 확보되는 동시에 압출공법으로 빔(Beam) 부재를 생산하는 과정에서나 단위부재로의 재단 과정, 그리고 현장에서의 소량 절단과정에서 높은 생산성 확보된다. 또한 같은 응력을 발휘하는 부재의 중량이 철재각관에 비해 1/3의 수준이므로 근로자의 작업 안전성 면에서도 매우 유리하다.

또한, 인간공학 관점에서 작업자가 운반 및 설치하는 부재 중량의 적정성은 작업 과정에서 발생할 수 있는 안전사고의 방지에 도 기여되며 또한 작업 효율도 높아지는 효과가 있다.

4.2 공법의 친환경성 검토

이상의 내용을 종합할 때 비철금속 빔 지지공법은 표4와 같은 친환경성 고려에 있어, 에너지 소모를 줄이며 시공, 폐기물이 덜 발생하게 시공, 오래 사용할 수 있게 시공, 부분교체가 용이하도록 시공, 주변 피해를 줄이며 시공, 공공 생산효율 저하를 줄이며 시공, 철거가 용이하도록 시공하는 7가지 항목 모두에서 매우 적절한 친환경 건축공법으로 평가된다.

표 4. 빔(Beam)지지공법의 친환경성 검토

1. 에너지 소모를 줄이며 시공	
-	대표적인 금속 건축재료인 철과 알루미늄은 모두 온실가스를 배출하면서 만들어짐
-	알루미늄의 용해과정에서는 비교적 잔류기간이 긴 온실가스인 과불화탄소(PFCs)와 육불화황(SF6)이 발생
-	하지만 빔(Beam)지지공법에 적용되는 알루미늄 부재는 사용 중에도 오랜 기간 물성을 보존하면서 재활용성도 좋으므로 전체적으로 에너지 소모를 줄이는 공법임
-	압출생산, 공장재단, 현장 비용절 조립, 현장 소량 절단가공, 재활용 및 재이용 등에서 에너지 저 소모에 매우 유리함
2. 폐기물이 덜 발생하게 시공	
-	공장생산, 현장 비용절 조립 세우기 작업으로 공정이 이루어지므로 폐기물 저 발생에 유리함
-	현장 부재절단 등이 용이하여 자투리 재료도 사용 가능함으로 재료의 낭비가 적음
-	용접작업이 필요하지 않아서 대기오염, 중금속 화염, 분진 등의 우려가 없음
-	산화 저항성도 높고 알루미늄 자체의 불순물이나 독성이 없는 친환경 소재로 폐기물 저 발생에 긍정적임

<p>3. 오래 사용할 수 있게 시공</p> <ul style="list-style-type: none"> - 대기 중의 산소와 반응하여 표면에 얇고 치밀한 산화 피막을 형성함으로써 지속적인 부식을 방지하여 오랜 기간에 걸쳐 초기강도를 유지할 수 있음 - 내식 특성에 강도 특성을 추가한 알루미늄 합금의 개발이 가능하여 오래 사용할 수 있는 공법임 - 결로 수분에 의한 부식 등의 우려가 없으므로 철재 각관이나 C형각관 방식에 비해 오래 사용할 수 있는 친환경 공법임
<p>4. 부분교체가 용이하도록 시공</p> <ul style="list-style-type: none"> - 건축물의 부분 증축, 개축에 대응하여 빔(Beam)재의 볼트체결 해제, 재조립이 가능하므로 부분교체도 가능 - 에폭시 등의 사용을 자제하고 볼트풀림 방지를 위한 특수와셔 등을 사용할 경우 재활용성은 높아질 수 있음
<p>5. 주변 피해를 줄이며 시공</p> <ul style="list-style-type: none"> - 공장생산, 현장 비용접 조립 세우기 작업으로 공정이 이루어지므로 용접 화염, 분진 등 주변에 폐기물 피해발생이 없음 - 알루미늄의 우수한 가공성으로 현장 절단작업 등에 있어서도 저소음 가공이 가능하므로 소음피해의 우려도 적음
<p>6. 공공 효율 저하를 줄이며 시공</p> <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 공기단축 공정의 적용이 가능하므로 공공효율 저하의 우려를 축소할 수 있음 - 진동에 안정하므로 장기적으로도 석재 이탈, 낙하 등의 우려가 없어 도로통행 등 공공효율 유지에도 긍정적인
<p>7. 철거가 용이하도록 시공</p> <ul style="list-style-type: none"> - 조립된 부재에 있어 스페너를 이용한 볼트 풀림방식으로 해제되므로 철거 과정의 분진발생 등에 자유로움 - 철거 후에도 고철 등 폐자재 방식으로 응용시키지 않고 그대로 재활용이 가능함

5. 평가 및 결론

알루미늄 빔(Beam) 지지공법은 중량 외장재의 휨모멘트 응력을 부담하는 수직 알루미늄 빔(Beam)재와 이와 직교하는 방향으로 장착되는 수평 알루미늄 빔(Beam)재가 결합되므로 평면 트러스(Truss)구조로 오인될 수 있으나, 중량 외장재는 평면상으로 뒤틀리는 저항력을 요구하지 않으며, 수직재의 벽면 부착강도가 충분히 확보될 수 있는 현장상황의 경우에는 수직 빔재만으로도 알루미늄 빔(Beam) 지지공법 적용이 가능하므로, 트러스라는 용어보다는 빔 지지공법이 적절하다.

알루미늄 빔(Beam) 지지공법은 중량마감재의 간격조절, 오차수정에 유리하고, 일반 기능공이 스페너만으로도 가볍게 운반, 설치작업이 가능하며, 현장에서의 부재절단 등의 가공법도 용이하므로 품질향상과 공기단축, 작업과정 상의 안전관리에 매우 유리한 공법이다

알루미늄은 산화피막을 형성시킴으로써 부식 안정도를 높일 수 있으므로 철재 각관이나 C형 각관에 비해 내구성을 현격하게 높일 수 있다. 특히 진동 흡수 능력이 뛰어나므로 철재 빔에서 나타나는 이음새 부분의 방수문제로 인한 내구성 악화에 효과적 대응이 가능하다. 동결팽창과 결로 흡습 등으로 부재의 특수부위가 취약해질 우려도 없으며 오픈조인트 공법을 적용하거나 바닷가 등 염분에 노출되는 지역에서도 별도의 방청작업 없이 완벽한 내구성 확보가 가능하다.

알루미늄 빔(Beam) 지지공법은 단기간 사용 후 해체를 필요로 하는 건축물이나 100년 이상을 목표로 하는 장수명 건축물 모두에 있어 경제성과 안정성을 높이면서 적용 가능하고, 신축공사는 물론 리모델링 공사에도 매우 유리하며, 저층과 고층, 안정한 환경과 진동이 있는 환경 어느 곳이든 고열접촉의 상황만 배제하면 경제적, 안정적으로 채택, 적용이 가능한 전천후 친환경 공법이다.

또한, 다양한 건축물에 적용된 구조계산서의 적정성 평가와 준공 후의 안정성 평가에 있어서도 매우 적절하므로 현장 적용성은 매우 긍정적이다. 알루미늄 빔 부재의 강성과 단면계수를 적용하고 해당 건축물 외장재의 고정하중과 풍하중을 적용하여 분석한 결과 안정성이 적절히 확보되며, 준공 이후의 사용성 평가에서도 구조적 적절성이 확인되므로, 알루미늄 빔(Beam) 지지공법은 시공품질, 작업효율, 안전성, 공기단축, 내구성, 재활용성 면에서 모두 적절한 친환경 공법으로 평가된다.

참 고 문 헌

1. 국내 업무용 건물의 친환경 외피시스템 적용실태에 대한 조사연구, 서영훈, 2008
2. 석재마감 커튼월 벽체부의 단열성능 평가 및 개선에 관한 연구, 정지나, 2007
3. 시설물별 손상 및 보수·보강사례 : 건축물, 한국시설안전공단, 2009
4. 중량마감재 시공을 위한 친환경 빔 지지공법 적용성 연구 보고서, 김장욱, 2011
5. 초고층 커튼월 공사의 공기 지연 및 공사비 상승에 대한 종합적 핵심 리스크 요인 분석, 이유미, 2011