

용접철근매트를 이용한 철근선조립공법의 생산성향상을 위한 면가공 설비개발

김현기, 김정우
다스코(주) 기술연구소
e-mail:khk2696@nate.com

Development of bending equipment to improve productivity of rebar pre-assembly method using welded bar mat

Hyun-Gi Kim, Jung-Woo Kim
R&D Center, DASCO Co., Ltd.

요약

건설산업의 생산성향상을 위해 Modular, OSC 등과 관련된 공법들이 각광받고 있으며, 노동력에 의존하는 철근조립 공종의 개선을 위한 선조립공법이 다양하게 적용되고 있다. 본 연구는 용접철근매트를 이용한 철근 선조립공법의 확산에 필수적인 면가공 설비개발을 수행하였다. 굽힘가공된 제품의 생산타입과 기존 면가공 설비의 문제점을 조사하고 분석하여, 표준갈고리의 굽힘각도 최대 135도, 직경 16mm~25mm의 개발범위를 설정하고 설계하였다. 초기 설계에서 목표성능을 구현하기 위해 중요한 변수 두가지를 도출하였고, 반복된 수정설계를 통해 각 부품의 제원을 확정하였다. 범용성 확보를 위해 가압 절곡봉과 벤딩핀 크기, 상호작용 및 간섭검토가 중요하고, 굽힘각도와 최소 내민길이의 설정이 필수적인 것으로 나타났다. 3차원 모델링을 통해 다양한 부품제원을 확정된 후 제작 및 조립하여 시작품을 완성하였다. 또한, 성능시험과 초기치 설정을 위해 용접철근매트 실험체를 설계하고 개발 방향과 범위를 검증할 수 있도록 체크리스트를 작성하였으며, 굽힘 시간 및 속도, 모재의 손상정도, 굽힘각도의 정밀도, 외경 및 내경의 적정성, 벤딩핀 교체시간 등을 점검항목으로 제시하였다. 향후, 실증실험과 평가, 초기치 설정 등 추가연구가 수행될 예정이며, 본 연구의 결과로 개발된 설비는 현업에 적용되어 용접철근매트를 이용한 철근선조립공법의 확산에 기여 할 수 있을 것으로 판단된다.

1. 서론

건설산업의 철근콘크리트 공종에서 노동생산성이 가장 낮은 철근조립 공정은 노령화 및 숙련공의 부족현상이 인건비 상승을 더 가속화 하고 있어 개선이 절실하다. 유럽이나 미국에서 일반화된 용접철근매트 공법을 이용할 경우 조립시간 또는 작업자를 감소시켜 공기단축이나 사업비의 절감을 도모할 수 있다. 정확한 배근간격과 결속을 통해 균열이나 처짐을 방지하여 콘크리트 품질도 향상시킬 수 있다. 그림 1과 같이 굽힘 면가공을 통해 선조립 적용범위는 더 확대 될 수 있다.



[그림 1] 용접철근매트 및 면가공 제품

Mesh Bender라 불리는 기존의 면가공 설비는 용접철망(Wire Mesh)을 구조재로 사용하고 있는 유럽제품이 대부분

이며, 직경 14mm 이하의 설비가 주종을 이룬다. 그러나 건축물의 기초나 토목구조물은 직경 16mm이상의 철근이 사용되므로 휨가공 위한 적정설비가 요구되며, 격자매트 형태의 가공을 위해서는 벤딩핀(Bending Pin) 조절이 간편해야 한다. 대부분의 설비는 수작업으로 나사를 풀어 조절하도록 되어 있어 소품종 다량생산에 불리하다. 본 연구는 직경 25mm를 최대직경으로 설정하고 벤딩핀 교체나 간격조절이 용이한 범용설비를 개발하여 입체가공된 선조립철근의 생산성을 향상을 도모하고자 하였다.

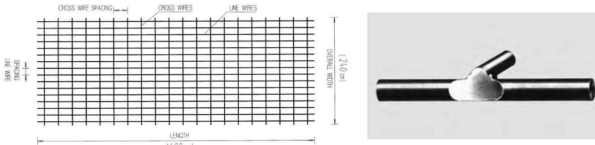
2. 용접철근매트 및 철근선조립

2.1 용접철근매트 개요

철근콘크리트의 품질 및 철근조립 공정의 생산성 향상을 위해 공장에서 제작되는 구조용 용접철근매트는 전기저항 용접방식으로 자동화설비를 통해 생산되며 국가건설기준과 KS 규정을 만족한다. 공종별 투입비용 중 인건비 비중이 높은 유럽이나 미국과 같은 국가에서는 일반화되어 있는 공법이나 국내의 경우 기계식 가공기술 개발수준에 머물고 있어 철근

선조립 공법에 대한 향상된 기술개발이 요구된다.

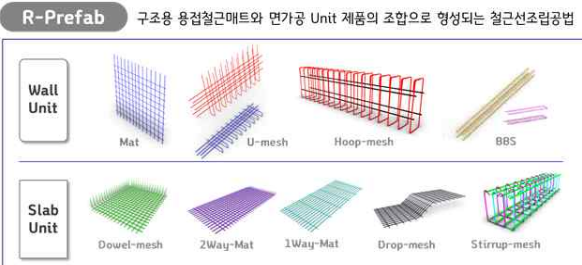
용접철근매트는 배근불량으로 나타나는 시공상의 원인을 제거하여 균열방지나 품질을 향상시키는 특징이 있다. 용접점으로 인한 부착력과 정착력의 증가는 물론 정확한 단면적과 간격의 구현이 가능하고 콘크리트 타설중 이동없이 정확한 철근위치 확보가 가능하다. 균일한 배근이 응력을 고르게 분포시켜 균열방지에 효과적이고 횡방향 구속철근은 슬래브의 강성을 증가시키고 균열과 처짐의 크기를 줄여 사용성을 향상시킨다. 그림 2는 운송 및 중량을 고려한 표준크기와 입열량을 최소화한 용접점 단면을 나타낸다.



[그림 2] 용접철근매트 표준크기 및 용접점 절단면

2.2 철근선조립 공법

철근을 공장에서 선(線)가공하고 선(先)조립하여 운송 후 현장에서 거치시키며 최종적으로 조립이 마무리되는 일반적인 선조립법 외에도 용접된 케이지나 용접철근매트와 같이 사전조립 없이 곧바로 적용되거나 추가적인 굽힘가공으로 선조립 되는 경우도 있다. 부분적인 유닛단위의 제품을 조합하는 방법과 연결장치(Coupler)에 주목한 방법, 운송편의를 위해 고안된 방법, 철근상세를 구조해석과 실험을 통해 바꾸는 선조립공법 등 철근 선조립공법은 다양하게 발전되고 있다.



[그림 3] 용접철근매트를 이용한 철근선조립 공법 개념도

[표 1] R-Prefab공법의 핵심기술

구분	내용
설계 기술	RC구조기준, 제작한계, 운송조건, 조립순서 등을 고려한 최적 설계방안 도출 및 계획능력, 다양한 철근상세 기술
시공 기술	매트의 인양 및 운송을 위한 JIG, 매트 조립을 위한 장비사용 및 현장여건의 확보, 조립자 교육, 시공용 부자재 및 스페이서 개발 등 용접철근매트 전용의 시공기술 및 장비개발
면가공 기술	선 가공과 차별화되는 Bending설비개발, 입체부재 발굴, 면부재 선조립기술 등 용접철근매트를 적용확대에 기여

철근선조립 공법은 ‘철근콘크리트의 품질 및 생산성 향상을 목적으로 가공철근을 공장에서 사전에 조립하거나, 조립장치나 철근상세를 구조적으로 변경하는 방법 등으로 현장에서의 조립시간 또는 작업인원을 최소화 하고, 안전사고 예방 및 사

업비 절감을 도모하는 공법’으로 정의할 수 있다. 본 연구는 그림 3과 같이 구조용 용접철근매트와 면가공제품의 조합으로 형성되는 R-Prefab공법을 기반으로 설비를 개발하였다.

용접철근매트를 이용한 철근선조립 공법은 설계 및 시공 기술과 매트의 면가공 기술이 핵심으로 표 1과 같으며, 완성도 높은 구현을 위해 면가공 설비의 개발과 운용이 중요하다. 용접철근매트의 적용과 관련된 모든 공정은 BIM 데이터로 관리되며, 다양한 설계상세, 생산데이터, 공사비, 시공 결과 등의 축적된 데이터는 생산성 향상과 기술개발의 기초자료로 활용할 수 있다. 최근 철근 BIM이 별도로 발주되고 있고, 용접철근매트를 적용하는 선조립공법과 같이 BIM이 적용되면 낭비요소를 줄일 수 있다. 면가공 기술의 다양한 활용과 발전을 위해서는 사전계획과 물류를 포함하는 시스템 구축이 필요하다.

3. 면가공 설비개발

3.1 필요성 및 방향

벽식 건축물에 흔히 사용되는 직경 10, 13mm의 철근과 구조용으로 이용되는 8mm이상의 철선의 경우 겹침이음의 길이가 비교적 짧아 정착길이를 고려하면 큰 물량 변화는 없으나, 표 2의 이음길이 예시와 같이 건축물의 기초나 토목구조물에 사용하는 대직경 철근들은 ‘ㄱ’, ‘ㄷ’, ‘Z’ 등 간단한 형태로 가공되더라도 겹침이음에 따른 물량저감이 가능하다.

[표 2] 인장 이형철근의 이음길이 예시($f_y=400\text{Mpa}$)

직경(mm)	f_{ck} (Mpa)		
	21	24	27
D16	880	810	770
D19	1,040	960	920
D22	1,500	1,410	1,330
D25	1,710	1,600	1,510

용접철망은 일반적으로 14mm이하의 철선이 이용되며, 유럽의 경우 16mm, 미국은 19mm가 최대직경으로 사용된다. 철선 직경이나 연성을 고려하면 굽힘반경이 작아 비교적 용이한 가공성으로 다양한 용도의 제품생산이 가능하다. 그림 4와 같이 유럽, 중국, 일본을 중심으로 다양한 면가공 설비가 개발되어 판매 중이고, 국내에서도 활용되고 있다.



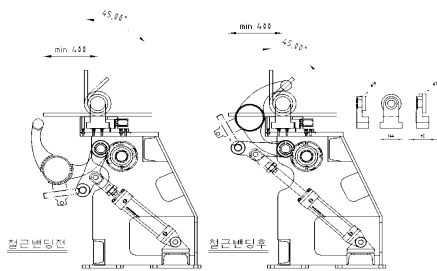
[그림 4] Mesh Bender설비 예시

그러나, 대부분의 면가공 설비는 철근의 직경과 간격이 바뀔 때 마다 벤딩핀을 교체하거나 간격을 재설정 할 수는 있지

만, 촘촘한 격자의 형태나 벤딩핀의 숫자를 고려하면 매트 타입이 바뀔 때 마다 세팅에 소요되는 시간이 크게 늘어나는 단점이 있다. 물리적인 힘을 가하여 구조기준이 허용하는 각도와 형태를 모재의 구조적손상 없이 굽히는 면가공설비는 보조치구를 활용하거나 벤딩핀을 다양하게 구비하여 생산범위를 확장할 수 있다. 본 연구는 용접철근매트를 면가공 하기 위한 설비개발이 목표이므로 몇가지의 제한적인 범위를 설정하였다. 먼저, 현재 국내에서 생산하는 용접철근매트의 직경이 최대 25mm이므로, 동일수준을 가공할 수 있도록 범위 설정하였다. 다음으로, 구조설계기준에 따른 표준갈고리의 최대 굽힘각도 135도를 범위로 설정하고, 재료나 직경별 특성치를 반영하여 정밀도를 확보할 수 있도록 미세조정 장치를 고안하였다. 다음으로는, 표준갈고리 내면반지름 크기를 고려하여 형태와 크기를 설정하고, 벤딩핀을 쉽고 빠르게 교체 혹은 이동시키도록 유압클램프를 적용하는 고정방식을 도입하였다. 추가적으로, 벤딩핀 교체를 위해 철근 직경별로 각각 달리 제작하고, 내면반지름 길이가 달라질 경우 벤딩핀의 헤더(지지원판)만도 교체가 가능하도록 계획하였다. 마지막으로, 폭 1,500mm, 길이 6,000mm, 높이 1,500mm, 중량은 6톤 이하로 설정하여 설치 및 작업자 사용편의를 고려했으며, 수평 선반(Table)을 설치하여 작업자의 사용편의와 안전사고 예방이 가능하도록 계획 하였다.

3.2 설계 및 시제품제작

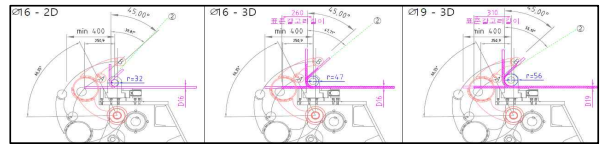
설정된 개발 방향에 따라 기본설계를 완료하고 반영된 주요 기술요소를 특허출원 하였으며, 벤딩핀 교체를 용이하게 한 유압 클램프, 가공 정밀도를 높일 수 있는 미세조정장치 등이 반영되었다. 설비 폭 6.0m와 3.0m이하 매트가공의 반복작업을 고려하여 가력 유압기 8기를 배치하고 직경25mm에 충분히 대응하도록 설계하였다. 그림 5는 초안을 나타낸다.



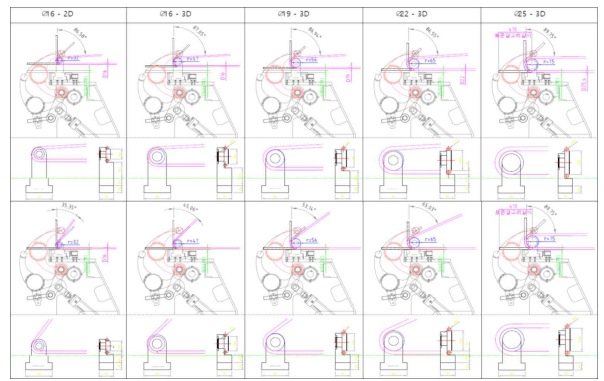
[그림 5] 초기 설계(안) 단면도

직경 16mm~ 25mm로 설정한 사용범위를 커버하려면 가압 절곡봉과 벤딩핀의 크기, 상호작용 및 간섭검토가 중요하며, 굽힘각도와 최소내민길이의 설정이 큰 영향을 미친다. 표준 갈고리를 가공하는 것으로 가정하면 D25의 경우 410mm 정도로 수용가능하나, D16의 경우 내면반지름을 고려한 최소내민길이가 260mm이므로 굽힘가공이 어렵고, 400mm로 길게

적용하면 굽힘은 가능하지만 철근량 증가를 감수해야 한다. 부품 치수확정을 위한 추가 변수는 굽힘 각도이다. 직경이 큰 철근의 굽힘은 다루기 힘든 측면을 고려하여 여러번 절곡하도록 설계되지 않는다. 다만, 범용성을 고려하면 D16의 경우 굽힐수 있어야 하므로 표준갈고리의 90~135도 정도를 범위로 설정할 수 있다. 이 두가지 변수를 고려하기 위해 보조가압봉을 추가하는 방안과 벤딩핀 높이조절 방안을 고려하여 그림 6과 그림 7과 같이 다양한 검토를 수행하였다.

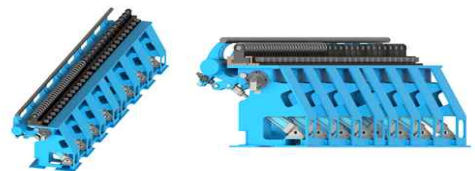


[그림 6] 추가되는 보조가압봉 검토 예



[그림 7] 벤딩핀 규격별 유격 및 간격 검토

결과적으로, 보조가압봉 역할은 적용범위를 넓히지 못했고, 1개의 가압봉으로 목표하는 135도 가공은 가능하였다. 각 직경별 굽힘 한계각도를 설정하여 메뉴얼로 제공하는 것이 합리적인 것으로 판단되었다. 최소 내민길이가 부족한 경우 가력 크기와 회전반경, 각도 등 다양한 요소를 고려하여 완전히 다른 개념의 설계가 요구된다. 즉, 소직경의 가공설비에서는 가능하나 회전모멘트로 가력하는 설비특성상 대직경의 휨가공을 위해 불가결한 것으로 판단되어 내민길이가 부족할 경우 벤딩파이프 활용방안을 고안하였다. 추가적으로 벤딩핀의 지지원판 교체가 가능하도록 하고, 표준갈고리의 내면반지름의 크기가 달라지더라도 간편하게 바꿀 수 있을 뿐 아니라, 특정한 회전각을 나누어 가공하는 방식으로 폭넓게 활용하도록 하였다. 20개의 입력치를 저장하고 단계별 선택적 적용이 가능한 가시적인 컨트롤러의 인터페이스를 도입하였다.



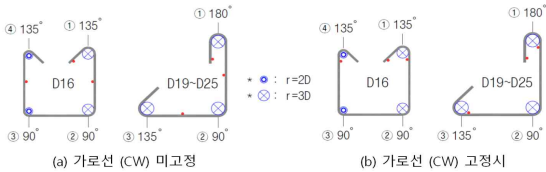
[그림 8] 시제품 3차원 모델링

그림 8은 3차원 모델링 결과를 나타내며, 여러 차례의 설계 부품에 대한 검토와 수정을 거쳐 각 부품 제작 전에 수행되었다. 벤딩핀 바닥부터 헤드까지의 이격거리 발생문제 해소를 위해 직경별 벤딩핀 높이를 달리 적용하고, 핀 높이가 낮아질수록 벤딩 각도가 줄어드는 한계점을 발견하여, 벤딩핀에 지지블록을 용접하여 유격을 없애도록 반영하였다.



[그림 9] 설비 시작품 제작과정 및 상세구성품

3차원 모델의 검토내용을 수정설계에 반영하여 소요부품과 메인프레임을 제작하고 시작품을 조립하였다. 그림 9는 부품 제작과 조립과정, 유압설비 및 컨트롤러 등 상세 구성품을 나타내며, 작업편의와 안전을 위한 받침대를 추가로 제작하였다. 스프링백을 고려한 컨트롤러의 초기값과 저장값은 실제 용접철근매트를 제작하여 실물 실험을 수행하여 설정하도록 계획하였다.



[그림 10] 표준갈고리 규정에 따른 굽힘 테스트 범위설정

그림 10은 각 매트마다 굽힘각과 정확도 체크를 위해 계획한 다양한 요구사항을 반영한 계획단면을 나타낸다. 시험체 직경은 16mm~25mm이며 가로선이 벤딩핀에 고정될 경우와 미고정 되는 두 가지 경우로 크게 구분되고, 굽힘각 90도, 135도를 고려하였다. 설비의 한계각 설정을 목적으로 180도를 추가 하였고, 설비개발 방향에 맞는 범위를 검증할 수 있도록 체크리스트를 작성하였으며, 굽힘 시간 및 속도, 모재의 손상 정도, 굽힘각도의 정밀도, 외경 및 내경의 적정성, 벤딩핀 교체시간 등 점검항목으로 제시하였다.

4. 결론

용접철근매트를 이용한 철근선조립공법의 적용확대를 위해 굽힘가공은 필수적으로 요구된다. 본 연구는 철근량을 절감시키고 시공성을 향상시킬 목적으로 면가공설비를 개발하였으며, 요구성능에 대한 설계와 시작품 제작을 수행하였고, 성능검증을 위한 실험계획과 점검내용을 제안하며, 아래와 같

은 결론을 얻었다.

첫째, 기존 설비의 문제점을 개선을 위해 유압클램프를 이용한 벤딩핀 교체장치와 표준갈고리를 비롯한 다양한 직경의 철근을 적용하기 위해 원형지지판 교체도 가능하도록 고안하고 적용하였다.

둘째, 정확한 굽힘각도 설정을 위해 입력 및 제어장치의 초기치 설정에 스프링백과 하중 작용점의 내민길이를 고려하고, 사용자 입력치로 구현되는 인터페이스를 구현하였다.

셋째, 3차원 모델링을 수행하여 설비가동 범위와 간섭여부에 대해 사전검토하고, 제작된 설비시작품의 실증 실험을 위해 철근 직경별 실험방안과 점검리스트를 제안하였다.

넷째, 범용설비의 개발을 위해 벤딩핀의 크기, 가압봉의 회전각 등 굽힘가공의 범위를 결정짓는 상호작용 요인을 사전검토로 확정할 필요성을 확인하였다.

향후, 용접철근매트로 제작된 실험체를 이용한 성능실험과 평가, 컨트롤러의 초기치 설정 등 추가연구를 수행할 예정이며, 본 연구의 결과로 개발된 설비는 현업에 적용되어 용접철근매트를 이용한 철근선조립공법의 확산에 기여 할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원이 시행하고 한국도로공사가 총괄하는 “스마트건설기술개발 국가 R&D사업(과제번호 RS-2020-KA156007)”의 지원으로 수행하였습니다.

참고문헌

- [1] 허갑수, 윤영호, 양지수, 김석중, 정현수, “구조용 용접철망을 사용한 일방향 슬래브의 휨거동에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 학술발표회 논문집, 제 13권 2호, pp. 555-1109, 10월, 1993년.
- [2] 김현기, 정재환, “구조용 용접철근매트 적용계획 기술요소 검토”, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 제 34권 2호, pp. 741-742, 10월, 2022년.
- [3] 김현기, 정재환, 김도형 “디지털 모델-용접철근매트 설계 정보 교환시스템”, 콘크리트학회지, 제 33권 3호, pp. 43-49, 5월, 2021년.
- [4] 김상연, 이범식, 연승희, 문지연, “철근 선조립공법 적용을 위한 용접철근매트 공법 검토 연구”, 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구보고서, 2020년.
- [5] L. E. Bernold, P. Chang, “Potential gains through welded-wire fabric reinforcement” Journal of construction engineering and management, Vol. 118, No. 2, pp.244-257, 1992.