

Research Paper

철근 커플러이음의 시공품질 확인 현황 및 적정 시공품질 확인 방안

Current Status and Appropriate Check Method of Construction Quality Control for Rebar Coupler Splice

김주용¹ · 김진동² · 이영도³ · 김광희^{4*}

Kim, Ju-Yong¹ · Kim, Jin-Dong² · Lee, Young-Do³ · Kim, Gwang-Hee^{4*}

¹Ph.D Course, Graduate School, Kyonggi University, Suwon-Si, Gyeonggi-Do, 16227, Korea

²Professor, Department of Architecture, Yeonsung University, Anyang-Si, Gyeonggi-Do, 14011, Korea

³Professor, Department of Architectural Engineering, Kyungdong University, Goseong-gun, Gangwon-Do, 24764, Korea

⁴Professor, Department of Architectural Engineering, Kyonggi University, Suwon-Si, Gyeonggi-Do, 16227, Korea

*Corresponding author

Kim, Gwang-Hee

Tel : 82-31-249-9843

E-mail : ghkim@kyonggi.ac.kr

Received : October 17, 2022

Revised : October 25, 2022

Accepted : October 26, 2022

ABSTRACT

As buildings become taller, the strength of structural materials must increase and the amount of rebar reinforcement also increases while the application of an appropriate rebar splice method in the construction process become one of the essential factors. In this research, the current status of quality check for rebar coupler is identified by an expert questionnaire and an appropriate quality check method is proposed through a quality test on specimens similar to actual on-site construction. In the test results, it was revealed that, among the quality check methods for rebar coupler joints, the coupler tightening method and face to face degree of between upper and lower rebar did not affect the strength the specimen. Therefore, it is considered to be an appropriate way to check the coupler quality check to check whether the threads are completely assembled during on-site construction through manufacture the number of threads of rebar and coupler with a margin beyond the calculated thread number.

Keywords : coupler splice, construction quality, number of coupler thread, quality control of coupler

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

신축되는 건물이 점점 더 초고층화됨에 따라 구조재료인 콘크리트와 철근의 고강도화와 철근의 배근량이 늘어나고 있다. 철근의 경우 제작 후 운반 길이의 제약, 건물의 층별 시공, 건물의 폭 또는 길이 등의 이유로 철근 이음은 필수이다. 여러 철근 이음 방식 중 기계적 이음은 시공성, 철근 순간격 확보, 구조적 성능확보, 겹침이음 대비 겹친 부분 철근 재료비의 절감 등의 이유로 초고층 건물에서 철근 기계적이음의 적용이 늘어나고 있다.

건설현장에서 철근 기계적이음의 성능확인을 위해 실제로 시공 완료된 철근을 절단하여 성능확보 여부를 확인하도록 하고 있다[1]. 2020년까지 건축공사 품질관리 업무지침[2]에 의하면 기계적 이음의 품질확인을 위해서는 콘크리트공사 표준시방서[3]에서 제시하고 있는 항목에 대한 커플러 가공업체에서 제출한 시험성적서로 품질확인을 진행하였다. 2020년 10월에 개정된 건축공사 품질관리 업무지침에 따르면 기계적 이음의 사용 빈도가 높아짐에 따라 미흡한 품질관리 방안을 보완하고자 건설현장에서 시공된 철근 커플러이음을 채취하여 시험하도록 하여 품질향상에 기여할 수 있도록 하고 있다[2]. 이것은 과



거 시험성적서로만 진행하였던 품질관리 방법에 문제점을 해결하고 실제 커플러의 시공상태와 시험체가 유사한 조건으로 시공되어 요구성능을 발휘할 수 있는지 확인하는 것이 품질관리에 있어 중요한 사항임을 나타내고 있다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 최근 건설현장에서 사용이 증가하고 있는 기계적 이음의 한 종류인 철근 커플러이음의 품질확인 실태에 대하여 기술자별 설문과 선행연구를 통해 파악하고, 건설현장의 시공상태와 유사한 방식으로 제작한 커플러이음 시험체의 품질시험을 시행하여 현재 건설현장에서 시행하고 있는 품질확인 방법의 적절성을 검토함으로써 품질확인 방안을 제시하고자 한다. 본 연구결과를 통해 초고층 건축과 같이 고강도의 재료를 사용하는 건설현장에서 효율적인 품질관리 방안 에 관한 자료로 활용되기를 기대한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

현장에서 사용되는 콘크리트와 철근 등 사용재료의 강도가 증가함에 따라 관련 지침 개정[1] 및 품질확보를 위한 여러 연구[4-9]가 진행되었다.

본 연구는 설문조사와 시험을 통해 진행하였다. 설문조사의 경우 건설분야 전문가를 대상으로 건설현장에서 기계적 이음의 경험 여부, 우수하다고 생각하는 철근이음 방식, 커플러이음의 품질 확인방법 및 품질 시험항목 등에 대한 설문을 실시하였다. 건설분야 전문가로 건설회사 엔지니어, 건설사업관리자, 발주처 관리자를 대상으로 하여 설문을 진행하였다. 설문을 통해 현장에서 실제로 커플러이음에 대한 신뢰 정도와 커플러이음의 품질을 확인하는 방법을 확인함으로써 시험을 통해 설문결과를 검증하고자 한다. 품질시험의 경우 실제 건설현장에서 시공하는 방식과 유사한 방식으로 제작한 커플러이음 철근 시험체를 사용하여 일방향 인장시험, 저사이클 반복시험, 잔류변형량시험을 진행하여 시험체의 기준강도 발현 여부를 확인하였다. 품질시험 항목의 선정 및 방법은 국토교통부에서 제공하는 콘크리트공사 표준시방서(KCS 14 20 11)[3] 및 철근 콘크리트용 봉강의 기계식 이음의 검사 방법(KS D 0249)[10]에 따라 시험을 진행하였다.

본 연구의 범위로는 철근의 커플러이음의 품질확인 방법으로 한정하였으며, 커플러이음의 품질시험 항목은 콘크리트공사 표준시방서[3]에서 제시하는 위치검사, 외관검사, 인장시험, 잔류변형량시험 중 일방향 인장시험, 잔류변형량시험과 국가표준인 철근 콘크리트용 봉강의 기계식이음의 검사 방법(KS D 0249)[10]의 일반목적에 해당하는 저사이클 반복 시험에 대해서만 시험을 실시하였다. 콘크리트공사 표준시방서[3]에서 제시하는 품질시험 항목 중 본 연구에서는 위치검사와 외관 검사는 제외하였다. 그 이유로는 위치검사와 외관검사의 경우 건설현장에서 철근과 커플러가 시공된 상태를 확인하여 검사하는 것으로 시험실에서 실시하는 것은 부적합하기 때문이다. 고응력 반복시험 또한 본 연구에서 제외하였는데, 그 이유로 고응력 반복시험은 시험방법을 제시하고 있는 철근 콘크리트용 봉강의 기계식 이음의 검사 방법(KS D 0249)[10]에서 분쟁 해소를 위한 적용 예시로만 제시되고 있으며 건설공사 품질관리 업무지침[1], 콘크리트공사 표준시방서[3]에서는 필수 시험 항목으로는 지정하지 않고 있으며, 본 연구에서 진행한 현장 설문 조사 결과 품질시험 확인 항목에서 고응력 반복시험이 필요하다는 응답 수가 전체 응답 수의 10% 이하로 나타났기 때문이다. 따라서 시험실에서 시공된 상태와 유사한 시료를 통해 검사하여야 하는 일방향 인장시험, 잔류변형량시험, 저사이클 반복 시험으로 한정하여 구조성능 발현 여부를 확인하도록 하였다.

첫째, 문헌고찰을 통해 철근의 이음방식, 현행 기준과 지침에 대하여 예비고찰을 실시하였다.

둘째, 기존 선행연구 고찰을 통해 커플러이음의 실태에 대하여 조사하기 위해 전문가 설문조사를 실시하였다.

셋째, 건설현장에서 실시하는 커플러이음 방식과 유사한 시험 시료를 제작하여 전문시험 업체를 통해 품질시험을 시행하였다.

넷째, 건설현장에서 시행하고 있는 품질확인 방법의 적절성을 검토하여 품질확인 방안을 제시한다.

본 연구의 수행 절차는 Figure 1과 같다.

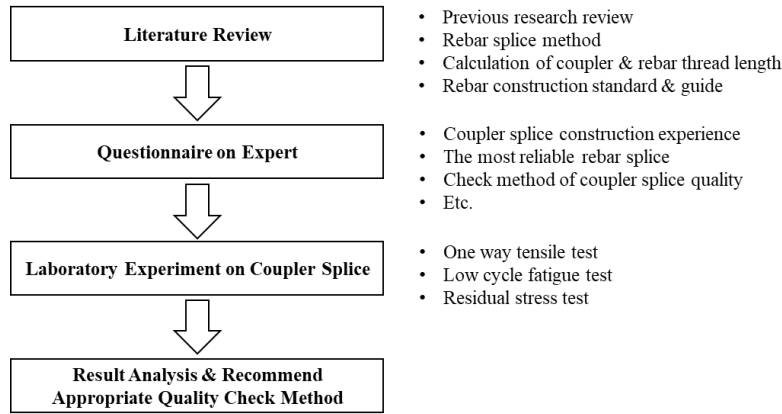


Figure 1. Research Process

2. 이론적 고찰

2.1 철근의 이음방식별 검사

철근의 이음방식별 검사 방법은 국토교통부에서 제공하는 건설공사 품질관리 업무지침[1]과 콘크리트공사 표준시방서 [3]에 따라 실시한다(Table 1 참고). 그 중 철근의 기계적 이음을 사용한 경우 육안검사(외관, 위치), 일방향 인장시험, 잔류변형량시험 시험항목에 대하여 검사하도록 하고 있다. 기계적 이음의 시험 방법의 상세 사항의 경우 철근 콘크리트용 봉강의 기계식 이음의 검사 방법(KS D 0249)[10]에 따라 일방향 인장시험, 정적내력시험, 저사이클 반복시험, 고응력 반복 내력시험, 고사이클 피로시험, 저온성능시험 등으로 구분하여 제시하고 있다.

Table 1. Splice methods and inspection of rebar[3]

Distribution		Methods	Criteria
Lap splice	location	visual inspection or ruler measure inspection	when processing and assembling
	splice length		
Gas press welding splice	location	visual inspection, ruler, vernier callipers measure inspection	all locations
	visual inspection		
	ultrasonic inspection	KS B 0839	30 pcs per 1 inspection lot
	tensile test	KS B 0554	3 pcs per 1 inspection lot
Mechanical splice	location	visual inspection, ruler, vernier callipers measure inspection (loose / length / dimensions)	all locations
	visual inspection		
	tensile test	Confirmation by the manufacturer's test report or separate tensile test	according to the drawing
	residual stress test	KS D 0249	by product standard by manufacturer
Welding splice	visual inspection	visual inspection or ruler measure inspection	all locations
	defects of welding point	KS B 0816 or KS B 0845 or KS B 0896 or KS D 0213	30 pcs per 1 inspection lot
	tensile test	KS B 0802 KS B ISO 17660-1	3 pcs per 1 inspection lot

2.2 커플러이음의 시험

콘크리트공사 표준시방서[3]에서 제시하고 있는 철근 기계적이음의 품질시험 항목으로는 외관검사, 위치검사, 일방향 인장시험, 잔류변형량시험이 있으며, 항목별 시험 방법은 철근 콘크리트용 봉강의 기계식 이음의 검사 방법(KS D 0249)[10]에서 제시하고 있다. Table 2는 본 연구에서 사용된 철근 커플러이음의 시험 방법을 나타내고 있다.

Table 2. Inspection of coupler splice

Test type	Inspection method
Visual inspection	<ul style="list-style-type: none"> • check the appearance and location of rebar(banding, flaw, thread and coupler conditions, tightness etc.) • measure the bonding force of the connected body through a coupler, etc.
One way tensile test	<ul style="list-style-type: none"> • yield strength 125% or more • KS B 0802[11], KS D 0354[12], KS D 3051[13]
Residual stress test	<ul style="list-style-type: none"> • inspect the amount of deformation stress change in the load acting on the rebar through the static strength test • load up to 95%(0.95) of the base rebar standard yield point, load up to 2%(0.02) of the standard yield point to measure the axial causticity and residual strain. • deformation is 0.3 mm or less
Low cycle fatigue test	<ul style="list-style-type: none"> • measure until fracture by repeatedly applying 5% and 90% of the rebar yield point using an extensometer • yield strength 125% or more and base metal fracture

2.3 커플러 및 이음 철근의 제작

건설현장에서 사용되는 커플러이음은 콘크리트공사 표준시방서[3] 등에서 제시하는 바와 같이 최소 설계기준 항복강도의 125% 이상의 강도를 발휘해야 한다. 따라서 제작되는 커플러와 나사산 철근은 인장 및 전단 하중을 고려하여 설계 및 제작되어야 한다. 철근 콘크리트용 봉강(KS B 3504)[12]에서는 기계적이음을 위한 종방향 리브가 없는 나사철근의 모양 등을 제시하고 있지만 아직까지 커플러 이음 철근의 나사산 제작과 관련하여 정량적인 설계기준이 존재하지 않는다. 따라서 커플러이음에 사용되는 철근의 나사산 제작은 식 (1~3)과 같이 인장하중과 전단하중 등을 고려한 산출방법과[14] 식 (4)과 같이 사용하고자 하는 나사산의 호칭 치수와 피치를 사용하여 유효단면적을 산출하여 나사산의 개수를 산정하고자 한다[15].

$$P_t = \sigma_t \times A_s = \frac{\pi d^2 \sigma_t}{4} = \frac{\pi d^2 (\sigma_b / \alpha)}{4} \tag{1}$$

$$P = \tau_t \times A_s = \frac{\pi d^2 \tau_t}{4} = \frac{\pi d^2 (0.72 \sigma_b)}{4} \tag{2}$$

$$A_s = \frac{\pi d^2}{4} \tag{3}$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 = \frac{\pi}{4} (d - 0.938194 \times p^2) \tag{4}$$

다음 식에서 사용되는 P_t 는 축방향 인장하중(kgf)이며, P 는 전단하중(kgf), A_s 는 나사철근의 유효단면적(mm²), τ_t 와 σ_t 는 나사철근의 허용응력(kgf/mm²), σ_b 는 나사철근의 항복응력(kgf/mm²), p 는 나사산의 피치(mm), d 는 나사철근의 유효직경(mm), α 는 안전률을 의미한다. 이때 사용되는 안전율은 극한응력에 의한 재료의 경험적 안전계수를 사용하며 Table 3과 같다[16].

Table 3. Empirical factor of safety of materials due to ultimate stress

Material	Static load	Live load		
		Repeated load	Alternate load	Impected load
Structural steel	3	5	8	12
Cast steel	3.5	5	8	12
Cast iron and brittle metals	4	6	10	15
Copper and soft metal alloys	5	6	10	15

산출된 유효단면적을 바탕으로 나사산의 길이(L_e)는 나사부 안지름에서 인장력이 나사산 빗면에 작용할 때, 나사산의 전단 파단면에 작용하는 응력이 인장강도와 같다고 가정[17]하였을 때 나사산의 전단 면적이 인장 면적(A_t)의 2배 이상 되도록 설계되어야 하므로 식 (5)과 같이 산출할 수 있다[18]. 이때 p' 은 1인치(inch)당 나사산 개수를 의미한다.

$$L_e = 2A_t / 0.5\pi \times (d - 0.64952p') \tag{5}$$

2.4 선행연구 고찰

철근 커플러이음과 관련된 다양한 선행연구들이 수행되었으며, 주요 내용을 정리하면 Table 4와 같다.

기존 선행연구에서는 철근 커플러이음의 우수한 시공성, 경제성, 구조적 성능 등을 분석하여 다른 철근 이음 방식 대비 뛰어난 성능에 대하여 집중적으로 연구되었으나, 사용되는 커플러이음의 시공 품질확인 방법에 관한 연구는 미비하다고 할 수 있다. 최근 초고층 건물을 비롯한 중소규모의 건물에도 커플러이음의 사용 빈도가 높아지고 커플러이음의 품질시험을 현장에서 직접 시험체를 채취하여 시험하는 방식으로 바뀌면서 커플러이음의 적정 품질확인 방법을 본 연구에서 제시하고자 한다.

Table 4. Review of previous research

Authors	Major research subject
Rowell et al. (2009)[4]	Present to threaded coupler and grout sleeve coupler were the best performance than other mechanical splice method to used high strain-rate test
Lee et al. (2015)[5]	Present research cases and field applicability of mechanical splice of ultra-high-strength (SD 600, SD700) reinforcing bars.
D. V. Bompa and A. Y. Elghazouli (2020)[6]	Present the use of coupler splice for beam-column joints in RC structures increases ductility and absorbed energy compared to other splice methods.
P. K. Dahal and M. Tazarv (2020)[7]	Evaluate the ductility capacity of the coupler used for the coupler splice according to the length, and present the optimum length to be used for the pier.
Kheyroddin, A. and H. Dabiri (2020)[8]	Present the dynamic performance depending on the thickness of the coupler, and proposed performance improvement plans.
H. Dabiri et al. (2022)[9]	Comparative analysis on the selection of the appropriate reinforcing bar splicing method in various structural elements.

3. 커플러이음 시공품질 확인 현황

3.1 설문개요

본 연구에서 진행한 건설현장의 커플러이음의 품질확인 실태에 관한 설문 조사의 개요는 Table 5와 같이 109부의 설문결과를 바탕으로 분석하였다.

Table 5. Questionnaire respondents

Distribution	Frequency		
	persons	%	
Profession	Construction Enginner	39	36
	Construction Manager	40	37
	Construction Enginner + Construction Manager	24	22
	Client Manager	4	4
	Others	2	2
Careers	less than 5 years	13	12
	5 years ~ 10 years	7	6
	10 years ~ 15 years	14	13
	more than 15 years	75	69
Experience	Yes	91	83
	None	18	17

3.2 설문결과 및 분석

본 연구에서 커플러이음의 품질확인 방법의 실태를 확인하기 위해 진행한 설문결과는 Table 6과 같다.

첫째, 건축분야 기술자를 대상으로 진행한 설문조사에서 건설현장에서 커플러이음의 경험이 있다고 응답한 비율이 83%, 경험하지 못했다고 응답한 비율이 17%으로 나타났다.

둘째, 다양한 철근의 이음방식 중 가장 품질이 우수한 이음법으로 커플러이음(49%), 겹침이음(36%), 가스용접이음(12%), 전기용접이음(2%), 강종에 따라 선택(1%) 순으로 나타났다.

셋째, 커플러이음의 품질을 확인하는 방법 중 가장 중요한 방법에 관한 질문에서는 커플러 조임상태 확인(45%), 현장 시공상태 확인(32%), 시험성적서 확인(16%), 커플러 가공상태 확인(4%), 인장시험을 통한 확인(1%), 매단계별 확인(1%), 공인시험기관에서 직접 각종 품질시험 확인(1%) 순으로 나타났다.

넷째, 커플러이음 시험체의 품질시험 항목에 관한 질문에서는 일방향 인장시험(60%), 잔류응력량 시험(22%), 저사이클 반복시험(9%), 고응력반복시험(9%) 순으로 나타났다.

다섯째, 커플러이음 시공관리시 중요하게 관리하는 항목에 관한 질문에서는 도구를 이용해 상부 철근을 돌려서 상하 철근의 단면이 완전히 밀착되었는지 확인(41%), 철근에 가공된 나사산이 커플러체 내에 완전히 들어갔는지 확인(41%), 커플러체에 상하철근이 정확하게 반씩 위치해 있는지 확인(18%) 순으로 나타났다.

Table 6. Questionnaire result

	Distribution	Frequency	
		Person	%
The best rebar splice method	Coupler splice	53	49
	Lap splice	39	36
	Gas pressure welding splice	13	12
	Electric welding splice	3	2
	Determined according to the rebar standard	1	1
Quality check of coupler splice	Check tightening status of rebar	49	45
	Check on-site construction status	35	32
	Check the mill sheet	18	16
	Check coupler manufacturing status	4	4
	Stress test	1	1
	Necessary to check the status of each stage	1	1
	Confirmation required at an accredited testing laboratory	1	1
Important of laboratory experiment items	One way tensile test	95	60
	Residual stress test	37	22
	Low cycle fatigue test	15	9
	High cycle fatigue test	15	9
Important management point of construction site	Check upper and lower reinforcing bars are located in half inside the coupler body	19	18
	Check cross section of the upper and lower rebars is completely adhered	45	41
	Check screw is completely inserted into the coupler body	45	41

3.2.1 직종별 설문결과

철근의 이음 중 품질이 우수한 이음방법으로 건설현장 엔지니어는 커플러 이음(46%), 겹침 이음(38%), 자동가스압접이음(10%), 전기용접이음(1%), 철근 규격에 따라 이음 방법 결정(1%)순으로 나타났다. 건설사업관리자의 경우 커플러 이음(55%), 겹침이음(33%), 자동가스압접이음(33%) 순으로 나타났다. 건설현장 엔지니어와 건설사업관리자를 모두 경험한 경우 커플러 이음(46%), 겹침 이음(38%), 자동가스압접이음(13%), 전기용접이음(4%)로 나타났다(Figure 2 참조). 커플러 이음의 품질확인 방법 중 중요한 방법에 관한 질문에서는 건설현장 엔지니어, 건설사업관리자, 건설현장 엔지니어와 건설사업관리자를 모두 경험한 경우 동일하게 커플러 조임 상태의 확인, 현장시공상태 확인, 커플러 이음 시험성적서 확인 순으로

나타났다(Figure 3 참조). 커플러 이음 시공 관리 시 중요하게 관리하는 항목에 관한 질문에서는 건설현장 엔지니어는 철근에 가공된 나사산이 커플러체 내에 완전히 들어갔는지 확인(38%), 도구를 이용해 상부 철근을 돌려서 상하 철근의 단면이 완전 밀착되었는지 확인(33%), 커플러체에 상하철근이 정확하게 반씩 위치해있는지 확인(28%) 순으로 나타났다. 건설사업관리자의 경우 도구를 이용해 상부 철근을 돌려 상하철근의 단면이 완전 밀착되었는지 확인(48%), 철근에 가공된 나사산이 커플러체 내에 완전히 들어갔는지 확인(40%), 커플러체에 상하철근이 정확하게 반씩 위치해 있는지 확인(13%) 순으로 나타났다. 두 직종 모두 경험한 전문가의 경우 건설현장 엔지니어와 동일한 순서로 나타났다(Figure 4 참조).

3.2.2 건설현장 경력별 설문결과

건설현장 경력별 설문결과를 분석해 보았을 때, 철근의 이음 중 품질이 우수한 이음 방법으로 경력 15년 이상인 전문가들은 커플러이음(43%), 겹침이음(42%), 자동가스압접이음(12%) 순으로 나타났다. 경력 10년 이상 15년미만인 전문가들은 커플러이음(79%), 자동가스압접이음(14%), 겹침이음(7%) 순으로 나타났다. 경력 5년 이상 10년미만인 전문가들은 겹침이음(40%), 커플러이음(30%), 전기용접이음(20%), 자동가스압접이음(10%) 순으로 나타났다(Figure 5 참조). 커플러이음의 품질확인 방법 중 중요한 방법에 관한 질문에서 경력 15년 이상 전문가들은 커플러의 조임상태 확인(55%), 현장 시공상태 확인(26%), 커플러이음 시험성적서 확인(15%) 순으로 나타났다. 경력 10년 이상 15년 미만인 전문가들은 현장 시공상태 확인(64%), 커플러의 조임상태 확인(29%) 순으로 나타났다(Figure 6 참조). 커플러이음 시공관리시 중요하게 관리하는 항목에 관한 질문에서는 경력 10년 이상 15년 미만 전문가들과 15년 이상 전문가들은 철근에 가공된 나사산이 커플러체 내에 완전히 들어갔는지 확인, 도구를 이용해 상부 철근을 돌려서 상하 철근의 단면이 완전히 밀착되었는지 확인, 커플러체에 상하 철근이 정확하게 반씩 위치해 있는지 확인 순으로 동일하게 나타났다. 하지만 5년 이상 10년 미만 전문가들은 도구를 이용해 상부 철근을 돌려서 상하 철근의 단면이 완전히 밀착되었는지 확인(57%), 커플러체에 상하 철근이 정확하게 반씩 위치하는 지 확인(29%), 철근에 가공된 나사산이 커플러체 내에 완전히 들어갔는지 확인(14%) 순으로 나타났다(Figure 7 참조).

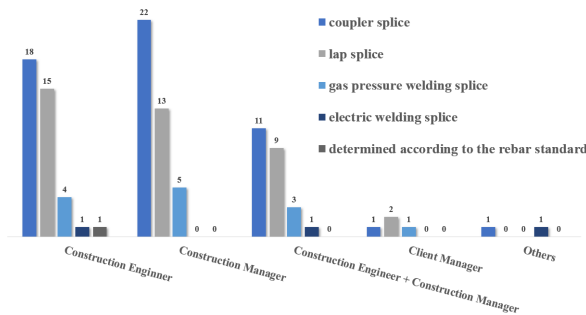


Figure 2. The best rebar splice method by profession

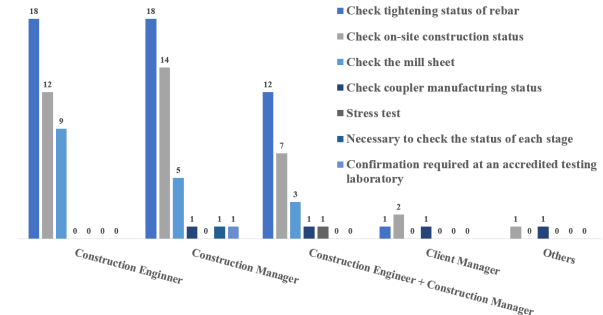


Figure 3. Quality check of coupler by profession

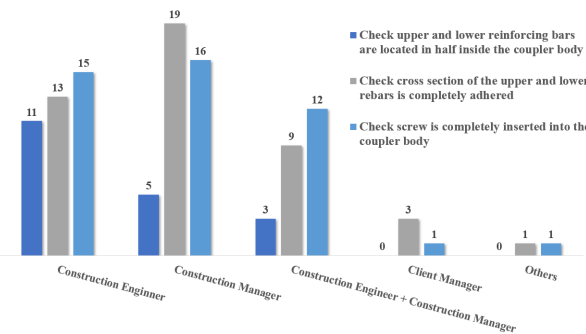


Figure 4. Important management point of site by profession

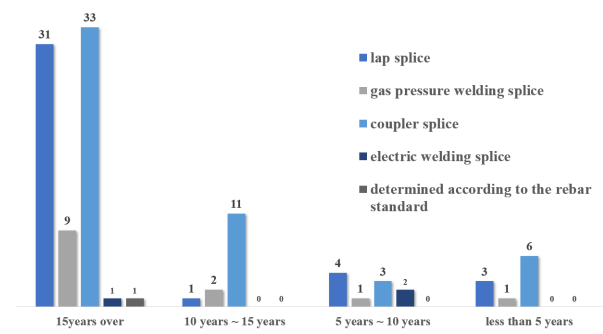


Figure 5. The best rebar splice method by careers

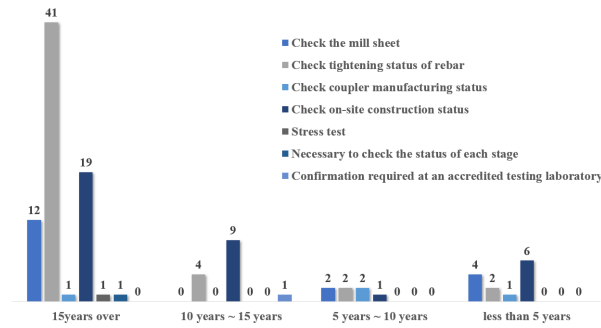


Figure 6. Quality check of coupler by careers

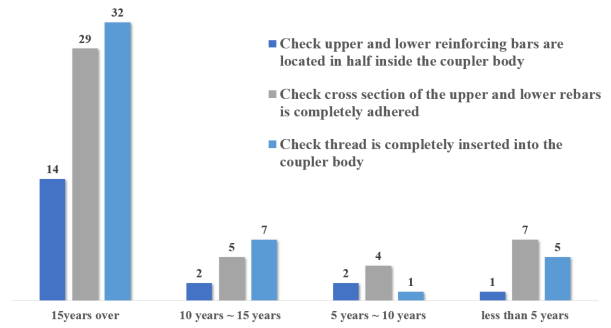


Figure 7. Important management point of site by careers

4. 철근 커플러이음 시험

4.1 시험개요

4.1.1 시험 철근과 커플러 강종

품질시험에 사용된 시험체는 SD500, D25 철근을 사용하여 커플러 제작업체를 통해 나사산 철근과 커플러를 제작하여 사용하였다(Figure 8 참조). 커플러 시험체는 실제 커플러를 생산하고 있는 OO기업체 것을 그대로 사용하였다. Table 7은 제작된 시험체와 나사산 산출식을 통해 계산된 커플러용 철근의 나사산 비교이다. 산출식을 통해 산출한 나사산의 필요길이는 25.24mm으로 실제로 커플러 제작업체에서 제작한 나사산 철근의 나사산 길이는 29mm로 나사산의 개수는 1개의 여유를 두어 3.76mm가 길게 제작되었다. 시험은 국가에서 공인인증을 받은 업체인 한국건설품질시험원과 한국건설자재시험연구원에서 철근 콘크리트용 봉강의 기계식 이음의 검사방법(KS D 0249)[10]에서 제시하고 있는 표준시험방법으로 실시하였다. 본 연구에서는 조임조건과 커플러체 내 상하철근의 단면 밀착 조건을 다르게 하여 일방향인장시험, 저사이클 반복시험, 잔류응력량 시험을 진행하였다.

Table 7. Comparison of specimen and calculation by formula

	Specimen	Results of Calculation by formula
Steel grade	SD500	SD500
Steel nominal diameter	D25	D25
Thread pitch(mm)	3	3
Thread length(mm)	29	25.24
Number of thread(pcs)	9.5	8.5

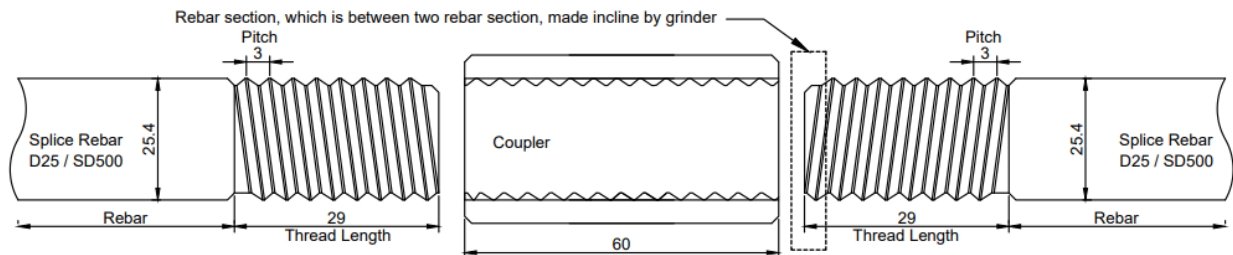


Figure 8. Specimen of rebar coupler joint

4.1.2 시험체 제작과 시험

시험체는 총 12개를 제작하였으며, 일방향 인장력 시험용 6개, 저사이클 반복시험용 3개, 잔류응력 시험용 3개로 제작하였다. 일방향 인장력시험은 파이프렌치로 조립한 시험체 3개, 사람손으로 조립한 시험체 3개에 대하여 시험을 하였고, 저사이클 반복응력 시험은 파이프렌치로 조립한 2개 시험체 중 1개의 시험체는 두 철근의 철근 절단면이 밀착된 것이고, 1개 시험체는 그라인더로 철근 단면의 40% 정도 갈아내어 조립을 하여 두 철근의 단면이 완전히 맞닿지 않게 제작한 시험체이다. 나머지 1개 시험체는 사람손으로 커플러를 조여서 두 개 철근의 단면이 완전히 밀착된 것을 보장하지 못하는 시험체이다. 시험조건별 시험 방법은 Table 8과 같다.

Table 8. Test method according to conditions

Specimen No.	Condition		Test	Test criteria
	Tightening method	Rebar section		
1-1	pipe wrench	Cut the rebar section vertically	One way tensile test	yield strength 125% or more (625 or more)
1-2				
1-3				
2-1	manpower	Cut the rebar section vertically	Low cycle fatigue test	yield strength 125% or more and Base metal fracture (625 or more)
2-2				
2-3				
3-1	pipe wrench	Rebar section inclined by grinding	Residual stress test	deformation amount 0.3 or less
3-2		Cut the rebar section vertically		
3-3		Rebar section inclined by grinding		
4-1	manpower	Cut the rebar section vertically	Residual stress test	deformation amount 0.3 or less
4-2		Rebar section inclined by grinding		
4-3		Cut the rebar section vertically		

4.2 시험결과

기계적 이음의 시험 방법을 설명하는 철근 콘크리트용 봉강의 기계식 이음의 검사 방법(KS D 0249)[10]에 따라 품질시험을 진행한 결과 Table 9와 같다.

Table 9. Result of laboratory experiment

Specimen	Test	Condition	Result	Criteria	Pass or not
1-1	One way tensile test (N/mm^2)	tightening by pipe wrench	669	625 or more	Pass
1-2		tightening by pipe wrench	675		Pass
1-3		tightening by pipe wrench	667		Pass
2-1		tightening by manpower	672		Pass
2-2		tightening by manpower	670		Pass
2-3		tightening by manpower	672		Pass
3-1	Low cycle fatigue test (N/mm^2)	tightening by pipe wrench	676 (Base metal fracture)	625 or more (Base metal fracture)	Pass
3-2		tightening by pipe wrench (section reduction)	674 (Base metal fracture)		Pass
3-3		tightening by manpower	681 (Base metal fracture)		Pass
4-1	Residual stress test (mm)	tightening by pipe wrench	0.06	0.3 or less	Pass
4-2		tightening by pipe wrench (section reduction)	0.14		Pass
4-2		tightening by manpower	0.19		Pass

4.3 시험결과 분석

건설현장에서 실시하는 커플러이음 방식과 유사한 시험 시료를 제작하여 전문시험업체를 통해 시행한 품질시험결과 일방향 인장시험, 저사이클 반복시험, 잔류응력량 시험 모두 기준이상의 성능이 발휘되는 것을 확인하였다. 건설현장 전문가를 대상으로 실시한 설문조사 결과를 분석해 보았을 때 커플러이음의 품질을 확인하는 방법 중 중요한 방법으로 조임상태 확인, 현장시공상태 확인, 시험성적서 확인으로 도출되었으며, 커플러이음 시공관리시 중요하게 관리해야하는 항목으로 도구를 사용하여 상하철근의 단면이 완전히 밀착되었는지 확인, 철근에 가공된 나사산이 커플러체 내에 완전히 들어갔는지 확인하는 것으로 도출되었다.

본 연구의 품질시험에서는 시험 방법 중 조임 방법에 파이프렌치로 조임을 하였는지 아니면 인력으로 조임을 하였는지에 따라 시험결과가 달라지지 않았다. 따라서 커플러 조립과정에서 반드시 파이프 렌치 등 조임도구를 이용하여 상하철근이 완전히 밀착되도록 조임을 하는지 여부는 품질점검에서 필수항목이 될 수는 없을 것으로 사료된다. 또한 커플러이음에서 상하철근이 완전히 밀착되도록 철근 가공 시 단면이 수직 상태가 되도록 하고 있으나 단면이 반드시 수직일 필요는 없을 것으로 사료된다. 시험상태에서 이 조건을 만들기 위해 수직으로 잘라진 철근 단면을 그라인더로 철근 단면의 약 40% 정도를 경사지게 갈아내어 상하 철근이 완전히 밀착되지 않도록 하였으나 시험 결과값에 변화가 없었다는 것을 확인하였다. 이처럼 시험에서 어떻게 조임을 하였는지와 철근 단면이 완전히 밀착되었는지가 시험결과에 영향을 미치지 않았던 요인으로 계산된 나사산의 길이보다 여유 있게 제작된 나사산에 있었던 것으로 사료된다. 따라서 커플러 시공 시 어떻게 조임을 하는지와 커플러 제작 시 반드시 철근 단면이 수직이 되어야 하는 조건은 철근 커플러 품질확인 사항에서 절대적인 항목이라 할 수 없을 것이다.

또한 설문조사에서 커플러이음의 품질을 확인하는 방법 중 중요한 방법 중 하나는 시험성적서의 확인이다. 현재 커플러 시험성적서는 품질시험 기준에 따라 실제 시공된 커플러 이음을 무작위로 채취하여 시험을 진행을 한다. 그러므로 실제 시공된 커플러의 품질확인 방법으로는 가장 적절하다고 할 수 있다. 그러나 시험결과를 기다리는 동안 건설현장의 후속 공정이 진행되지 못하기 때문에 동시성이 부족하므로 적정 시공품질 확인방안으로 적절하지 않다고 할 수 있다. 결과적으로 커플러이음의 품질을 확보하기 위해 커플러와 철근에 만들어진 나사산의 길이가 계산된 나사산 길이보다 길게 제작을 하도록 하고 이렇게 제작한 철근 나사산이 커플러에 완전히 삽입되었는지 확인하는 것이 중요하다고 할 수 있을 것이다.

5. 적정 품질확인 방안

건물의 초고층화 및 대형화와 같은 이유로 건설현장에서 철근의 이음은 필수적인 요소 중 하나이다. 실제 건설분야의 전문가를 대상으로 진행한 설문 분석 결과 커플러의 품질확인 방법 중 중요한 방법으로 커플러의 조임상태와 건설현장 시공상태, 시험 성적서를 확인하는 것으로 나타났으며, 커플러이음 시공관리 시 중요하게 관리해야하는 항목으로는 커플러체 내 상하철근의 단면이 완전히 닿아있는지, 철근의 가공된 나사산이 완전히 들어갔는지 확인하는 것으로 나타났다. 하지만 실제 시공상태와 유사한 시험체를 제작하여 조임상태와, 커플러체 내 상하철근의 단면의 맞닿은 정도를 다르게 하여 시험을 진행한 결과 모든 조건에서 품질시험 기준을 만족하는 결과를 보였다. 이는 설문 분석 결과와 같이 조임의 세기, 상하철근의 단면 맞닿은 정도가 연구에 사용된 시험체와 같이 여유분의 나사산을 갖고, 나사산이 커플러와 전부 결합되었을 경우 다른 외부 요인들이 기준강도를 확보하는데 문제가 되지 않을 수도 있다는 것을 알 수 있었다. 따라서 품질시험 결과를 바탕으로 분석해보았을 때 제작단계에서 나사산 철근이 여유치를 갖고 제작이 되도록 설계를 진행하며, 전문가 설문에서 나온 결과와 같이 커플러체 내에 제작된 나사산이 완전히 들어갔는지를 우선적으로 확인하는 것이 커플러이음의 품질확인 방법으로 적절할 것으로 사료된다.

6. 결론

본 연구에서는 최근 건설현장에서 사용이 증가하고 있는 기계적 이음의 한 종류인 커플러이음의 품질확인 실태를 전문가 설문조사와 선행연구, 규정 등을 통해 파악하고 실제 시공상태와 유사한 조건으로 시험체를 제작하여 품질시험을 진행하였다. 설문결과 커플러이음의 품질확인 실태 조사에서 품질확인 방법 중 중요한 방법으로 제시된 조임 방법과 커플러체 내 상하철근의 단면의 맞댐 정도 등으로 품질시험을 진행해보았을 때, 여유분으로 제작된 나사산이 커플러와 전부 결합하였을 경우에 문제가 되지 않고 기준강도 발현이 가능함을 확인하였다.

따라서 본 연구에서 제시하는 적정 품질확인 방안으로 제품의 설계 및 가공 단계에서 나사산이 표준개수보다 여유치를 갖도록 설계를 하여 커플러를 공장에서 제작하고 현장에서는 기존 설계안과 같게 제작이 되었는지를 확인한다. 그리고 커플러를 시공한 후에 제작된 철근의 나사산이 전부 커플러체에 들어가있는지 여부를 확인하는 것이 철근 커플러 품질확인 방법으로 가장 적절할 것이다.

그러나 본 연구는 전문가 설문 수가 직종 범위별로 차이가 있었으며, 직종의 수 또한 시공관리자, 사업관리자, 발주처 관리자를 대상으로만 진행하였고, 시험체의 개수 및 시험횟수가 한정적이었다는 한계가 있다. 따라서 향후 시험체의 조건을 달리하면서 좀 더 많은 시험을 통해 성능시험의 신뢰도 향상이 필요할 것으로 사료된다. 향후 본 연구결과를 기반으로 하여 커플러이음이 적용되는 건물의 철근 이음 시공과정에서 효율적으로 커플러이음의 품질확인을 할 수 있는 적정방법에 관한 연구가 활발하게 진행되어 실제 건설현장에서 효율적으로 철근이음의 품질확보에 기여할 수 있기를 기대한다.

요약


건물의 초고층화에 따라 구조재료의 강도 증가와 철근의 배근량이 증가할 뿐만 아니라 철근의 시공과정에서 적절한 이음 방식의 사용이 필수적인 요소 중 하나이다. 본 연구에서는 철근 커플러이음의 시공품질 확인실태를 전문가 설문을 통해 파악하고, 실제 현장 시공과 유사한 시험체에 대한 품질시험을 통해 적정 품질 확인방안을 제시하고자 한다. 시험결과 설문조사 결과에서 나온 품질확인 방법 중 커플러 조임방법과 상하 두 철근의 맞댐 정도 등이 시험체 강도에 영향을 주지 않는다는 결과를 얻었다. 따라서 철근과 커플러의 나사산 개수를 계산치보다 여유를 두고 제작하고, 현장 시공시 나사산이 완전히 조립되었는지 확인하는 것이 적절한 커플러 품질 확인방법으로 사료된다.


키워드 : 커플러 이음, 시공품질, 커플러 나사산, 품질확인 방안


Funding

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government (MOE)(No.2018R1D1A1B07045461).

ORCID

Ju-Yong Kim,  <https://orcid.org/0000-0003-4630-4387>

Jin-Dong Kim,  <https://orcid.org/0000-0001-7531-8126>

Young-Do Lee,  <https://orcid.org/0000-0003-1439-2693>

Gwang-Hee Kim,  <https://orcid.org/0000-0002-7715-9496>

References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Construction work quality management guidelines [Internet]. Seoul: Korea Law Information Center; c2015-2022 [updated 2021 Jan 18; cited 2022 Oct 15]. Available from: <https://www.law.go.kr/LSW//admRulLsInfoP.do?chrClsCd=&admRulSeq=2100000208520>
2. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Construction work quality management guideline [Internet]. Seoul: Korea Law Information Center; c2015-2022 [updated 2020 Oct 13; cited 2022 Oct 15]. Available from: <https://www.law.go.kr/LSW//admRulLsInfoP.do?chrClsCd=&admRulSeq=2100000193744>
3. KCS 14 20 11 Standard specification for concrete construction : rebar work. Seoul (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2022. Korean.
4. Rowell SP, Grey CE, Woodson SC, Hager KP. High strain-rate testing mechanical couplers. CA: US Army Corps of Engineers; 2009 Sep 65 p. Report No.: ADA508609
5. Lee YJ, Lee JS, Lee WH, Lee YJ, Kim KH. Mechanical splice of SD600 and SD700 rebar. Magazine of the Korea Concrete Institute. 2015 May;27(3):24-7. <https://doi.org/10.22636/MKCI.2015.27.3.24>
6. Bompa DV, Elghazouli AY. Inelastic cyclic behaviour of RC members incorporating threaded reinforcement couplers. Engineering Structures. 2019 Feb;180:468-83. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.11.053>
7. Dahal PK, Tazarv M. Mechanical bar splices for incorporation in plastic hinge regions of RC members. Construction and Building Materials. 2020 Oct;258:120308. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120308>
8. Kheyroddin A, Dabiri H. Cyclic performance of RC beam-column joints with mechanical or forging (GPW) splices; an experimental study. Structures. 2020 Dec;28:2562-71. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.10.071>
9. Dabiri H, Kheyroddin A, Asta AD. Splice methods used for reinforcement steel bars: A state-of-the-art review. Construction and Building Materials. 2022 Feb;320:126198. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126198>
10. KS D 0249 Method of inspection for mechanical splicing joint of bars for concrete reinforcement. Seoul (Korea): Korea Agency for Technology and Standards; 2019. Korean.
11. KS B 0802 Method of tensile test for metallic materials. Seoul (Korea): Korea Agency for Technology and Standards; 2018. Korean.
12. KS D 3504 Steel bars for concrete reinforcement. Seoul (Korea): Korea Agency for Technology and Standards; 2021. Korean.
13. KS D 3051 Dimensions, weight and tolerances of hot rolled steel bars and bar in coil. Seoul (Korea): Korea Agency for Technology and Standards; 2022. Korean.
14. LM1501020106 Fastening element design. Seoul (Korea): Ministry of Education; 2021. Korean.
15. In SR, Park MY. Tightening characteristics domestic M8 stainless screws. Journal of the Korea Vacuum Society. 2001 Jul;10(2):155-63.
16. Pasi B. What is factor of safety? Discuss various factors to be considered while selecting the factor of safety -Suggest various values for different type of loads and materials [Internet]. Maharashtra: Ques10; c2016-2022 [updated 2018 Feb ; cited 2022 Oct 17]. Available from: <https://www.ques10.com/p/21879/what-is-factor-of-safety-discuss-various-factors-t/>
17. Lee SS. Structural performance of horizontal connection using threaded rebarfor precast concrete wall panels. Journal of the Architectural Institute of Korea. 2021 Jul;37(7):175-82. <https://doi.org/10.5659/JAIK.2021.37.7.175>
18. International Organization of Standardization. Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel, Part 1: Bolts, Screws and Studs with Specified Property Classes – Coarse Thread and Fine Pitch Thread (ISO 898-1:2009). Switzerland: ISO; 2009. 62 p.