

기계적 철근이음 장치의 현황 및 적용사례

Structural Performance Criteria and Application for Reinforcing Bars Mechanical Connections



김길희*
Kil-Hee Kim



김상우**
Sang-Koo Kim



나환선***
Hwan-Seon Nah



서용표****
Yong-Pyo Se

1. 머리말

철근콘크리트 구조에 사용되는 철근의 길이는 정해진 규격으로 생산 공급되므로 철근의 이음은 필수적으로 발생한다. 이러한 철근 이음은 구조물의 안전과 시공성면에서 중요한 역할을 담당하고 있다. 대부분 건설현장에서 이용되고 있는 철근이음은 겹침 이음, 가스압접, 용접 이음, 기계적 이음 등이 있으며, 지금까지 일반적으로 겹침 이음(lap splice)이 철근콘크리트 구조물에 사용되어 왔다.

철근의 겹침 이음은 콘크리트 타설 후 경화한 다음에야 비로소 인장력을 발휘할 수 있어, 콘크리트 강도 및 피복 두께가 충분하지 못하면 철근에서 발생하는 응력에 의해 콘크리트에는 균열이 발생하여 부착균열과피로 발전한다. 이는 휨 파괴에 비하여 급격하게 내력을 상실하기 때문에 겹침 이음을 설계함에 있어서 이음 위치, 겹침 이음길이, 피복 두께, 철근간격 등에 대한 충분한 고려가 필요하다.^{1~5)}

이러한 전통적인 겹침 이음에 대한 문제점들을 해결하기 위한 많은 연구노력의 결과 철근의 기계적 이음 방법이 개발되었다^{6~9)}. 기계적 이음은 2개의 철근을 연결하여 시공함에 있어 콘크리트의 부착강도와 관계없이 인장력에 저항할 수 있는 철근의 이음방법이지만, 그 이음의 방법과 형식에 따라 성능의 현격한 차이를 나타내고 있다^{9~12)}. 그 결과 일본의 경우 1970년대에 약 30여 종류의 이음형태가 개발되어 사용 되었으나 이음성능의 성능평가 심사제를 도입한 이후 성능평가 기준을 만족하는 슬리브 압착 방식, 충전 방식, 나사 이음 방식 등이 주요 이용되고 있다.^{13,14)}

국내에도 최근 여러 형식의 제품들이 개발되고 있으나 이음 성능기준을 단순하게 항복강도의 125% 이상만을 요구하고 있어, 이음부의 슬립(slip)이 구조물에 미치는 영향에 대한 연구와 추가적인 최소 이음성능의 기준 마련을 위한 연구가 필요하다.

본고에서는 기계적 이음의 종류와 성능평가방법, 구조적 거동, 적용사례 등을 소개하고자 한다.

2. 철근 기계적 이음의 종류 및 특징

철근의 기계적 이음은 1970년대 초반 일본과 유럽에서 활발히 개발되었으며 국내에서는 1995년부터 여러 형태의 이음방법이 개발되어 사용되고 있다.

철근의 기계적 이음은 시공성의 편리, 일정한 품질, 다양한 적용성 때문에 건설현장의 사용이 급격히 늘어나고 있으며, 특히 구조물의 대형화 및 내진 설계의 필수 요건으로 대두되고 있다. 또한 기계적 이음은 이음의 성능에 따라 그 적용 부위가 각각 다르며 이음의 성능이 우수한 제품일수록 구조물의 이음 위치에 관계없이 사용할 수 있다. <표 1>에 기계적 이음의 종류 및 특징을 나타내었다.

2.1 나사마디 방식 이음

이형철근의 마디 형상이 나사형상이 되도록 압연 처리된 철근을 암나사로 가공된 커플러를 이용하여 접합하는 방식으로 현재 우리나라에서는 나사형 철근이 생산되지 않는 관계로 이용 사례는 없지만 일본을 비롯한 유럽에서는 많이 채용되고 있는 이음방식이다. 그러나 나사형 철근 생산 업체에 따라 마디 형상이 달라서 전용 커플러가 필요하다. 커플러와 철근 사이의 간극에 의해 발생하는 조립 시의 느슨함을 해소하는 방법으로 잠금너트를 이용하여 조이는 토크방식과 커플러와 철근 마디 사이의 공극에 모르타르 혹은 수지를 주입하는 그라우트 방식, 양자를 병용한 너트 그라우트방식이 있다.

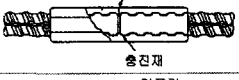
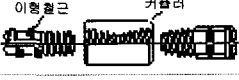


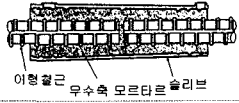
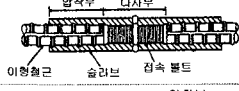
* 정회원, 공주대학교 건축공학과, 교수
kimkh@kongju.ac.kr

** 정회원, 부원 BMS 이사

*** 정회원, 한전전력연구원, 선임연구원

**** 정회원, 한전전력연구원, 책임연구원

표 1. 기계적 이음의 종류

이음방법	이음방법	장점	단점
나사 마디식 이음	 <p>토크 방식</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 특수한 기능공 불필요 	<ul style="list-style-type: none"> · 나사형식의 별도 철근 생산 필요 · 토크 입력 시 별도의 공구 필요 · 커플러의 길이와 외경이 크다
	 <p>그라우트 방식</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 접합시 철근의 신축이 없다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 특수한 장비 필요 · 커플러의 길이와 외경이 크다
단부나사 가공이음	 <p>스웨이징 나사이음</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 특수한 기능공 불필요 · 안정된 품질 확보 · 체결성이 우수하다 	<ul style="list-style-type: none"> · 자재반입을 위한 정확한 시공계획이 필요함
	 <p>테이퍼 나사이음</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 특수한 기능공 불필요 	<ul style="list-style-type: none"> · 철근 모재를 절삭하여 나사를 가공함으로써 이음부 성능이 저하 됨 · 철저한 토크관리가 필요함
	 <p>마디·리브 나사이음</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 특수한 기능공 불필요 	<ul style="list-style-type: none"> · 철근에 따른 이음성능의 차이가 크다 · 커플러의 길이와 외경이 비교적 크다 · 불안정한 나사로 인한 시공성 저하
강관 압착식 이음	 <p>연속압착 방식</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 기둥의 이음에 적합 · 개보수 구간에 적용이 용이 	<ul style="list-style-type: none"> · 이음 체결시 철근이 다소 늘어남 · 철근의 직경이 다를 경우 시공에 어려움 · 협소한 장소의 작업이 어려움 · 압착시 특수기계 필요 · 시공성이 떨어짐
	 <p>단속압착 방식</p>		
충진식 이음	 <p>충진식 이음</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 접합시 철근의 신축이 없음 · 서로 다른 규격 철근의 이음에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> · 특수장비 필요 · 시공조건이 까다로움
병용이음	 <p>강관압착 나사병용</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 개보수 구간에 적용이 용이 · 체결성이 우수하다 · 서로 다른 규격 철근의 이음에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> · 특수한 장비 필요 · 이음 체결시 철근이 다소 늘어남 · 협소한 장소의 작업이 어려움
	 <p>강관압착 충전병용</p>		
편체식 이음	 <p>편체식 이음</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 개보수 구간에 적용용이 · 특수장비 불필요 	<ul style="list-style-type: none"> · 커플러 외경이 크다 · 인장 및 압축력 작용시 지속적 슬립 발생

2.2 단부 나사가공 이음

단부 나사가공 방식은 시판되는 이형철근의 단부를 나사가공한 철근 혹은 가공한 나사 부분을 철근의 단부에 마찰압착한 철근을 사용하여 압나사로 가공한 커플러를 이용하여 접합하는 공법이다.

2.3 강관압착 이음

강관압착 이음은 맞댄 철근의 단부에 강관(슬리브)을 덧씌운 다음, 강관을 유압잭으로 압착하여 강관을 이형철근의 마디 사이에 과고르게 하여 접합하는 방법이다. 강관의 압착을 연속적으로 실시하는 방법과 단속적으로 실시하는 방법이 있으며 철근의 경우 시판되는 어떠한 이형철근을 사용해도 무방하나 국내에선 아직 상용화 되어 있지 않다.

2.4 충전 이음

충진 이음에는 충전하는 재료에 따라 모르타르 충전 이음과 용융금속 충전 이음의 두 종류가 있다. 모르타르 충전 이음은 주물강재 슬리브의 양단에서 철근을 맞대는 것처럼 삽입하여 슬리브와 철근과의 간극을 무수축 고강도 모르타르로 충전하여 일체화한 접합방법이다. 용융금속 충전 이음은 철근을 맞댄 슬리브 내에 용융금속을 유입하여 간극을 충전한 접합방식으로 시판되는 모든 이형철근을 이용해도 무방한 이음방법이다.

2.5 병용이음

병용이음은 나사이음 및 충전이음과 강관압착이음의 조합된 이음방식으로 협소한 공간작업 및 고공작업 등 강관압착이음용 유압잭으로 시공이 어려운 철근의 이음으로 개발된 방식이다.

표 2. 각국 기계적 이음 성능평가 기준

구분	ACI-349	ASME Sec. III div. 2.-CC 4333	AASHTO LRFD	일본토목학회	일본건축센터	ACI318-05		한국도로공사	
						Type 1	Type 2		
시험편 개수	정적 static	규정 없음	6개	-	3개	3개	-	-	1일 시공 개소 또는 500개소당 1회(2개)
	동적 cyclic	3개	3개	-	3개	3개	-	-	대표규격 1개
성능 기준	정적	1.25f _y	최소 : 1.25f _y 평균 : 인장강도 이상 실제 인장강도 95 %	최소 : 1.25f _y 잔류변형량 제한	1.35f _y 또는 규정인장강도 이상 잔류변형량 제한 탄성계수	1.35f _y 또는 규정인장강도 이상 잔류변형량 제한 탄성계수	1.25f _y	인장강도 이상	규정인장강도 이상
	동적	1.25f _y	최종강도 규정 없음 (최소 f _y 5 %부터 90 %까지 인장응력 변동을 100회 가력 후 정적시험으로 판단)	-	최종강도 규정 없음	1.35f _y 또는 규정인장강도 이상 강성의 변화	-	-	1.25f _y 이상

3. 철근 기계적 이음 장치의 성능평가 방법 및 기준

철근콘크리트 구조물에 있어서 철근의 역할은 적재하중 및 지진과 강풍 등의 외력에 대하여 구조물이 인장 및 압축에 저항할 수 있도록 하는 것이나, 철근이 외력에 대하여 충분한 구조적 성능을 갖게 하기 위하여 철근의 겹침 이음 시 소정의 겹침 이음 길이를 정하고 콘크리트와의 부착력에 의하여 이음 성능을 발휘하도록 하는 반면에, 철근의 기계식이음은 콘크리트와의 부착력과는 관계없이 철근의 이음 부분에서 이음이 없는 원철근과 같은 강도가 요구됨은 물론, 커플러 내부에서 슬립에 의한 영구 변형량이 최소화 되어야 한다.

〈표 2〉에 각국의 철근 이음에 대한 성능기준을 설명하고 있으며 국내의 「콘크리트구조설계기준」에서는 단순한 정적인장 시험 결과만을 규정하고 있으나 외국의 대부분 국가에서는 이음의 정적 및 동적하중에 대한 저항강도와 영구 변형량을 규정하고 있으며, 우리나라도 이음부의 슬립(slip)이 구조물에 미치는 영향을 고려한 추가적인 최소 이음성능의 기준 마련이 필요함을 알 수 있다.

〈표 3〉에는 우리나라에서 많이 사용되고 있는 기계적 이음방법에 대한 정적인장 시험과 하중변위 관계를 나타내며 〈그림 1〉에 시험후의 파괴 양상을 나타낸다.

4. 휨 부재 내에서의 거동 특성 비교 평가

주철근으로 D22와 ASTM A615 #11(D36)을 배근하여 〈그림 2〉와 같이 휨 파괴가 선행하는 부재에서의 겹침 이음과 커플러에 의한 기계적 이음의 차이에 따른 최대내력, 연성, 에너지소산 능력 등의 구조적 특성을 비교 평가해 보았다. 실험에 사용된 강재 및 콘크리트의 재료적 특성은 〈표 4〉에 나타내었다. 또한 사용된 커플러는 ASME Section III division 2

표 3. 정적인장시험

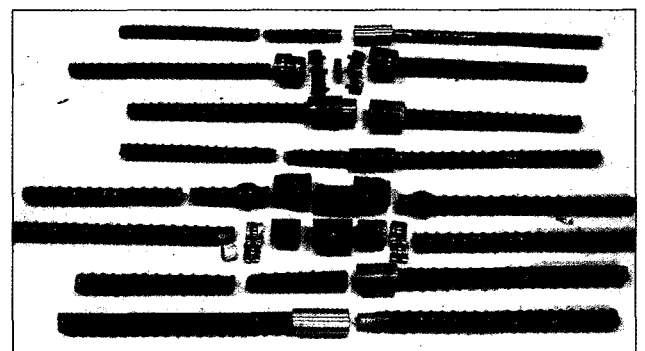
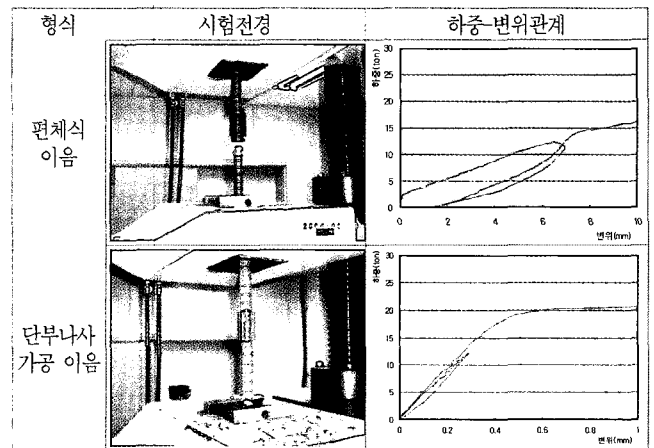


그림 1. 정적 인장실험 후 파괴양상

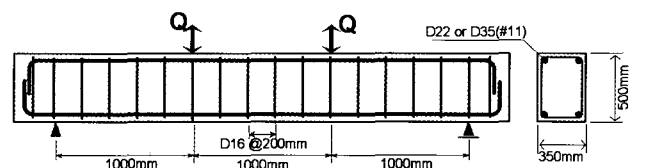


그림 2. 시험체 및 가력방법

표 4. 비교 시험체 특징

시험체	시험체 설명	사용재료
Non splice	이음 없는 철근 2대	주철근 3D-22 ($f_y = 446 \text{ MPa}$) 전단 보강근 D16@200 ($f_{wy} = 400 \text{ MPa}$, $f_{ck} = 32 \text{ MPa}$)
Mechanical splice	기계적 이음 철근 2대	
Lap splice	겹침 이음 철근 2대	

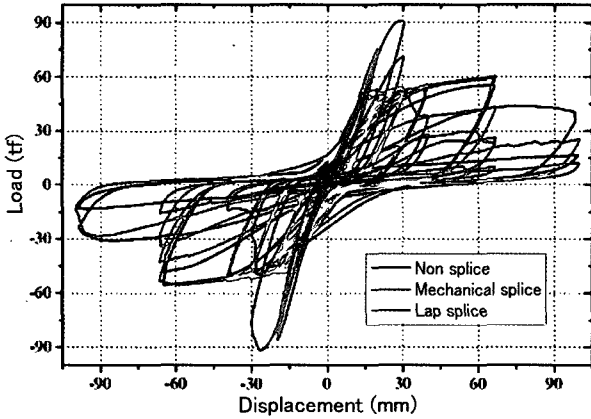


그림 3. 하중-변위 관계

CC 4331.2에 추가된 냉간스웨이징(성형) 전조 평형나사이음으로 된 기계적 이음을 비교대상으로 하였으며, 반복가력에 의한 구조적 거동을 비교분석하였다.

(그림 3)은 하중-변위 관계를 설명하고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 기계적 이음에 의한 시험체와 이음을 가지지 않는 시험체에 있어서는 철근의 항복 후 충분한 연성거동을 나타낸 후 압축측 콘크리트의 압축파괴에 의해 최대내력에 이르는 거의 유사한 거동을 나타내고 있다. 이에 반해 겹침 이음을 둔 경우, 겹침 이음을 설치한 구간에서는 철근량이 다른 두 시험체에 비해 2배 많아 철근 항복시의 내력도 2배가량 증가하지만 철근 항복 후 곧바로 압축측 콘크리트의 압축파괴로 이어져 매우 취성적 파괴 양상을 나타내고 있다. 다시 말해 철근 항복 후 콘크리트의 압축파괴가 발생하기까지의 각 부재의 소성변형 능력(최대내력시의 처짐량/철근항복시의 처짐량)에 대해 살펴보면 이음을 설치하지 않은 시험체와 기계적 이음장치를 둔 시험체 모두 4배 이상으로 기계적 이음장치를 두는 경우 겹침 이음을 설치하는 경우에 비해 뛰어난 소성변형 능력을 가지고 있음을 알 수 있다.

다음으로 반복가력실험 결과를 토대로 각각의 시험체가 갖는 에너지 소산능력을 비교해 보면, 겹침 이음을 둔 시험체에 비해 기계적 이음을 둔 시험체가 2배 이상의 에너지 소산 능력을 갖는 것으로 나타나 우수한 에너지 소산능력을 발휘하는 것을 확인할 수 있었다.

5. 철근 기계적 이음의 적용 사례

기계적 철근 이음은 구조물의 대형화와 내진설계에 따른 철근 이음의 필수적인 요소로 대두되고 있으며 지진 다발지역인 일본의 경우 적극 활용되고 있으며 우리나라에서도 기계적 철근이음에 대한 수요가 급속히 증가하리라 예상된다. 우리나라의 경우, 대형교량 및 건축물에 단부나사가공에 의한 이음 방법을 주로 사용하고 있으며 그 적용 사례를 다음 그림에 나타낸다.

6. 맺음말

철근콘크리트 구조물의 전통적인 철근 이음방법인 겹침 이음을 대신할 기계적 이음방법은 휨 실험에 의한 구조적 거동을 평가한 결과 기존의 철근 겹침 이음보다 동등이상의 구조성을 나타냈을 뿐만 아니라, 초기강성, 휨 내력의 차이는 나타나지 않지만, 철근 항복이후 소성영역에서의 연성이 뛰어나고 에

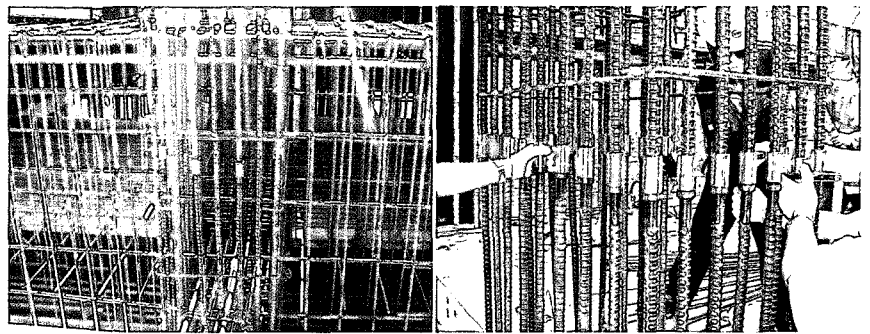


그림 4. 기둥철근의 이음

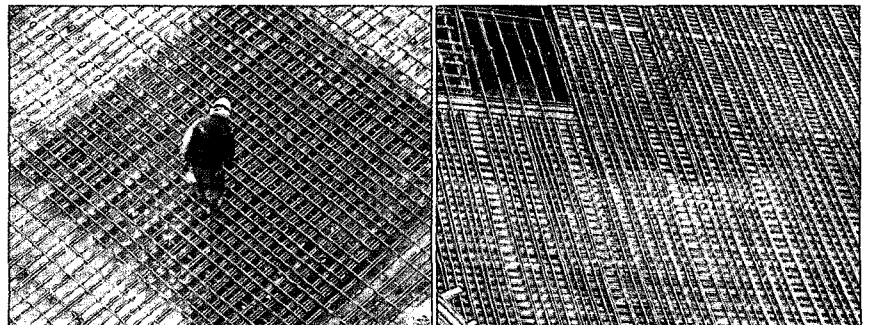


그림 5. 매트철근의 이음

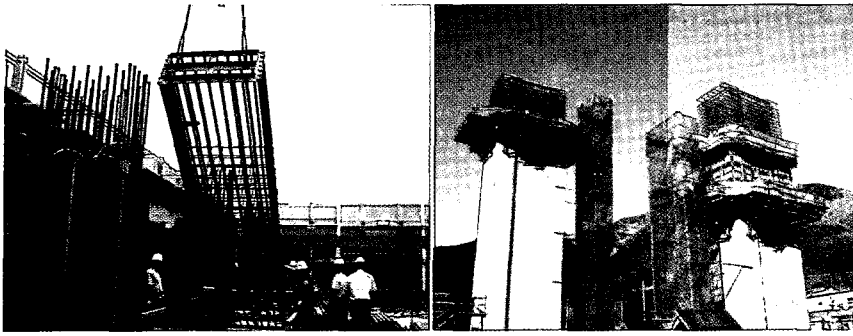


그림 6. 철근의 선조립

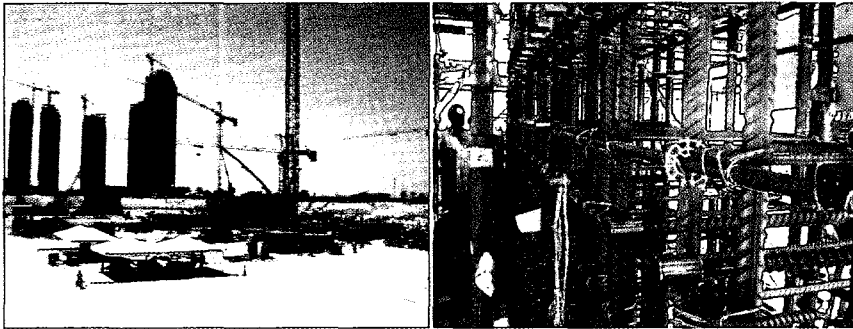


그림 7. Burj Dubai Tower

너지소산능력이 커서 내진설계에 뛰어난 철근이음 형식이라고 할 수 있다.

이러한 기계적 철근이음의 현장적용에 있어 다음의 항목을 사전에 충분히 검토하여 이음의 형식 및 제품을 선정하여야 할 것으로 사료된다.

- 1) 이음시공 방법에 따른 제품의 형식선정
- 2) 이음시공 및 검사방법의 용이성
- 3) 공사 진행에 따른 물량 수급의 용이성
- 4) 시공에 따른 품질의 동일성
- 5) 이음에 있어서 기준강도 이상의 성능 및 슬립(slip) 발생 유무 확인

기계적 이음의 형식 선정에 있어 상기와 같은 검토가 필요하며, 아울러 외국과 같이 슬립이 발생하는 이음형식이 부재에 미치는 영향에 대해서는 향후 보다 많은 추가적인 연구가 필요하며, 적절한 성능기준의 마련이 필요할 것으로 사료된다. □

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조설계기준·해설", 2003.

2. ACI 349-01 Code, "Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures".
3. CAN/CSA-N287.2-M91 material Requirements for Concrete Containment Structures for CANDU Nuclear Power Plants.
4. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (318M-05) and Commentary (318RM-05)," American Concrete Institute, 2005.
5. 日本建築學會, "鐵筋コンクリート構造計算基準・同解説", 日本建築學會, 1999, pp.170~202.
6. 박선규 외, "커플러이음 철근을 사용한 철근 콘크리트 보의 휨 거동에 대한 실험적 연구", 한국구조물진단학회 제4권 제3호, 2000. 07, pp.197~204.
7. Bilas S. Hamad, "Effect of Fiber Reinforcement on Bond Strength of Tension Lap Splices in High-Strength Concrete," ACI Structural Journal, Sep.-Oct. 2001, pp.638~647.
8. Atorod Azizinamini, "Proposed Modifications to ACI 318-95 Tension Development and Lap Splice for High-Strength Concrete," ACI Structural Journal, Nov.-Dec. 1999, pp.922~926.
9. Atorod Azizinamini, "Behavior of Lap-Spliced Reinforcing Bars Embedded in High-Strength Concrete," ACI Structural Journal, Sep.-Oct. 1999, pp.826~835.
10. LeRoy A. Lutz, "Changes to and Applications of Development and Lap Splice Length Provisions for Bars in Tension(ACI 318-89)," ACI Structural Journal, Jul.-Aug. 1993, pp.393~406.
11. John F. McDermott, "Mechanical Connections of Reinforcing Bars," ACI Structural Journal, Mar.-Apr. 1991, pp.222~237.
12. V. E. Sagan, "Behavior and Design of Noncontact Lap Splices Subjected to Repeated Inelastic Tensile Loading," ACI Structural Journal, Jul.-Aug. 1991, pp.420~431.
13. 建築技術, "はじめから見直す鉄筋工事のポイント", 2003, pp.87~175.
14. The Building Center of Japan, "Building Letter for BCJ Partners," No.014, 2003.