

# 매입강판 용접열에 의한 고강도 콘크리트 접합부 구조성능 영향평가에 관한 실험적 연구

정 경 수<sup>1)\*</sup> · 김 기 면<sup>2)</sup> · 김 도 환<sup>1)</sup> · 김 진 호<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 책임연구원, RIST, 강구조연구소 <sup>2)</sup> 연구원, RIST, 강구조연구소 <sup>3)</sup> 본부장, RIST, 강구조연구소

## Experimental Study for Structural Behavior of Embed Plate into Concrete Subjected to Welding Heat Input

Chung, Kyung Soo<sup>1)\*</sup> Kim, Ki Myon<sup>2)</sup> Kim, Do Hwan<sup>1)</sup> Kim, Jin Ho<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Sr.Researcher, Steel Structure Research Division, RIST, Incheon, 406-840, Korea

<sup>2)</sup> Researcher, Steel Structure Research Division, RIST, Incheon, 406-840, Korea

<sup>3)</sup> Sr.PrincipalResearcher, Steel Structure Research Division, RIST, Incheon, 406-840, Korea

**ABSTRACT** : In a super-tall building construction, thick and large-sized embed plates are usually used to connect mega structural steel members to RC core wall or columns by welding a gusset plate on the face of the embed plate with T-shape. A large amount of heat input accumulated by weld passes causes the plates to expand or deform. In addition, the temperature of concrete around the plates also could be increased. Consequently, cracks and spalls occur on the concrete surface. In this study, the effect of weld heat on embed plates and 80MPa high strength concrete is investigated by considering weld position (2G and 3G position), edge distance, concrete curing time, etc. Measured temperature of the embed plates was compared with the transient thermal analysis results. Finally, push-out tests were performed to verify and compare the shear studs capacity of the embed plate with design requirement. Test result shows that the shear capacity of the plate is reduced by 14%-19% due to the weld heat effect and increased as the concrete curing time is longer.

**KEYWORDS** : embed plate, welding heat input, transient thermal analysis, high strength concrete

### 1. 서 론

최근 들어, 초고층 건축물에서 강과 콘크리트의 강점을 이용한 합성구조는 높은 내력 및 소성능력을 경제적으로 구현 가능하다. 초고층 합성구조시스템에서 RC코어벽체와 장스팬 철골보로 이루어진 접합부에 대한 처리문제는 중요한 이슈 중의 하나이다.

일반적으로, RC코어벽체를 선행공법으로 시공할 경우, 벽

체와 철골보사이의 접합을 위한 강판을 RC벽체에 매입하고, 거푸집을 탈형한 후에 거셋플레이트를 용접하게 된다. 용접에 따른 입열량으로 인해 매입강판 주변의 콘크리트의 온도상승에 따른 손상이 발생하며, 압축강도 50MPa이상의 고강도 콘크리트의 경우는 폭발의 위험성이 높다. 또한, 매입강판 두께가 얇고 입열량이 큰 경우는 용접변형이 커서 매입강판과 콘크리트간의 틈새가 발생할 수 있다. 이에 매입강판의 구조 안정성에 대한 문제점이 발생할 소지가 높다.

매입강판 접합관련 연구결과를 보면, Kimpel *et al.* (2007)는 매입강판 용접에 따른 온도계측과 변형을 조사<sup>[1]</sup> 하였으며, ANSYS를 이용한 용접온도해석을 통한 비교를 하였다. Shahrooz *et al.* (2004)는 전단스터드 앵커가 붙은 매입강판이 전단과 인장을 받을 경우에 대한 실험과 해석<sup>[2],[3]</sup> 을 행하였다. 한편, 고강도 콘크리트 타설 후, 재령에 따른 매입강판과 거셋플레이트간의 용접함에 따른 매입강판의 구

Note.-Discussion open until April 30, 2014. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on January 30, 2013; revised September 1, 2013; approved on October 1, 2013.  
© KSSC 2013

\* Corresponding author

Tel. +82-32-200-2427 Fax. +82-32-200-2449  
E-mail: kschung@rist.re.kr

조성능평가를 한 연구는 미비하다.

본 논문에서는 압축강도 80MPa급 고강도 콘크리트에 매입된 매입강판과 거셋플레이트간의 현장용접에 따른 콘크리트 영향을 검토하고자 하였다. 먼저, 콘크리트 타설후 재령별 현장용접접합에 따른 매입강판의 온도계측과 비정상 온도해석을 수행하였다. 또한, 용접열에 따른 균열패턴과 콘크리트의 중성화 정도를 조사하였다. 다음으로, 재령별 현장용접접합에 대해서 매입강판의 전단성능을 실험 평가하였다.

## 2. 용접열에 의한 콘크리트 영향 평가

### 2.1 실험체

매입강판과 거셋플레이트간의 용접열 영향을 평가하기 위해서 Fig. 1에서 보는 바와 같이 총 5가지 경우에 대해서 실험체를 제작하였다. 매입강판과 거셋플레이트에 사용한 강재는 SM490이며, 콘크리트는 80MPa로 하였다. 콘크리트 블록안에 철근을 없게 하여 용접에 따른 콘크리트 균열패턴 및 균열깊이를 알아보하고자 하였다. 또한, 실험체 셋팅을 위해 직경 19mm, 길이 100mm인 스타드앵커를 200mm간격으로 설치하였다 (Fig. 1(c))

KS B 0801에 준하여 제작된 인장시험편의 재료시험결과와 Table 1과 같다. 항복강도와 인장강도는 KS B 3515의 규격치를 만족하였다.

콘크리트는 레미콘 배척플랜트에서 생산한 설계강도 80MPa의 고강도 콘크리트를 사용하였다. 콘크리트의 압축시험은 KS F 2405에 준하여 수행하였으며, 실험결과와 Table 2와 같다.

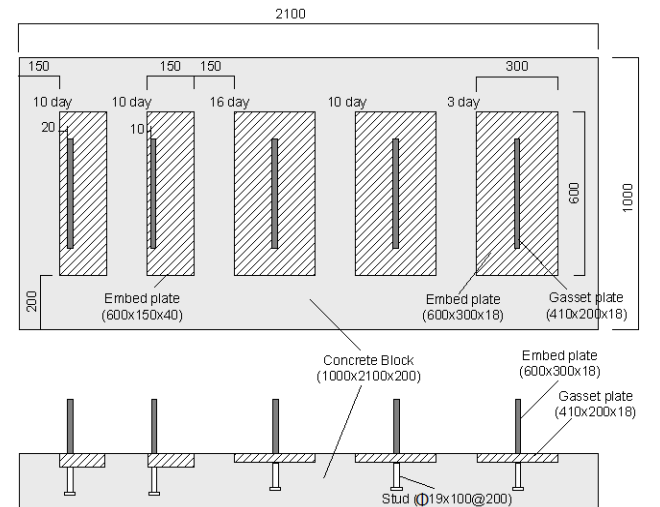
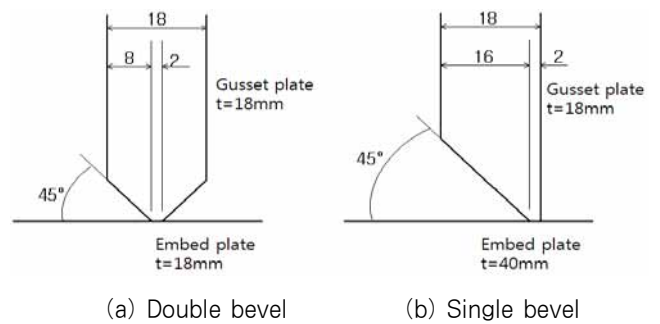
콘크리트에 미치는 용접열 영향을 고려한 실험변수로는 연단거리(10mm, 20mm, 140mm), 매입강판 두께(18mm, 40mm), 용접시점(콘크리트 타설 후 3일, 10일, 16일) 등이다. 연단거리에 따른 거셋플레이트 개선 디테일은 Fig. 1(a), (b)와 같다. 여기서 연단거리는 용접하는 부위의 거셋플레이트면에서 매입강판 끝단까지의 거리이다.

## 2.2 용접방법 및 온도계측방법

용접방법은 FCAW-g으로 용접재료는 KSD 7104 YFW-C50DR에 따른 연강 및 50킬로급 고장력강용으로 조선선재 CSF-71T, 직경  $\phi$ 1.4mm이다. 용접재료의 인장강도는 612MPa이다. 차폐가스는 이산화탄소이며, 전기특성으로 교

Table 2. Compressive strength tests fo concrete

Days	3	10	16	28
Compressive strength (MPa)	33	64	68	77



(c) Embed plate with stud embedded in a concrete block

Fig. 1 Specimens

Table 1. Steel tensile tests (KS B 0801)

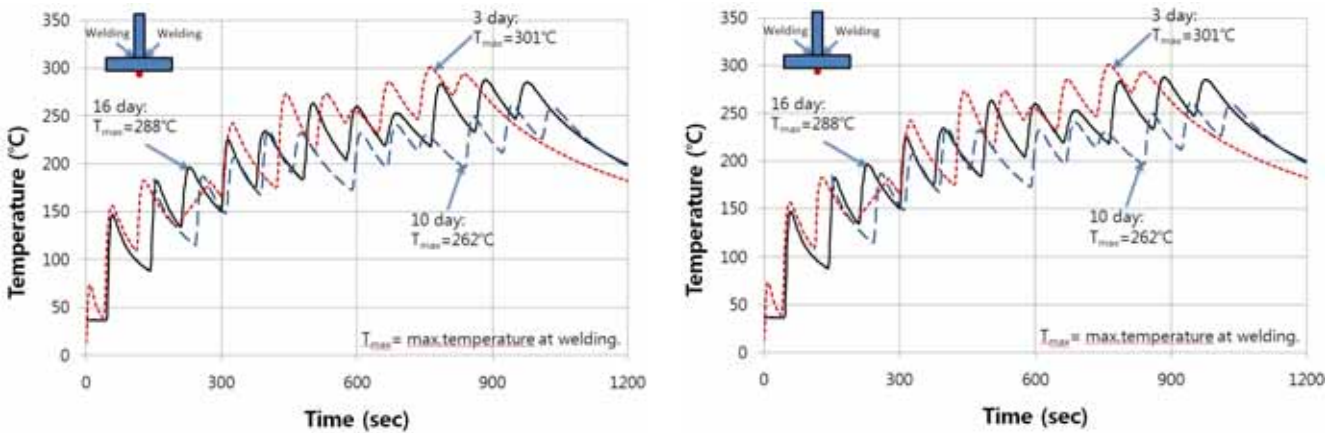
Type	Yield stress (MPa)	Ultimate stress (MPa)	Yield Ratio	Elongation (%)	
Plate	18mm	376	538	0.70	26
	40mm	353	511	0.70	28
Stud	$\phi$ 19mm	312	470	0.66	29
Bar	D13	534	640	0.83	26



Fig. 2 Specimens before placing concrete and weld heat measurement

Table 3. Field welding condition (2G position)

Edge Distance	140mm			10mm	20mm
Welding Time after Placing Con'c	3 Day	10 Day	16 Day	10 Day	16 Day
Voltage (V)	24.5	23.5	24.0	28.5	31.5
Current (A)	185	165	160	200	200
Welding Passes (n)	12(Left 6, Right 6)	Left and Right 6	Left and Right 6	12	12
Welding speed(cm/min)	35~37 (ave.36)	25~48 (ave.34)	30~38 (ave.34)	37~52 (ave.43)	32~75 (ave.46)
The time of cleaning Slag or Movement (sec)	ave. 17.0	ave. 17.8	ave. 15.1	ave. 8.1	ave. 6.6
Heat Input(J/mm)	ave. 762.8	ave. 687.5	ave. 678.1	ave. 793.8	ave. 820.5



(a) Edge distance: 140mm

(b) Edge distance: 10mm and 20mm

Fig. 4 Measured temperature-time relations

류아크 용접기를 사용하였다. 또한 용접에서 모살용접보강 (reinforcing fillet)를 포함하고 있어 실측한 용접면적으로 연단거리가 140mm와 20mm에서 약 144mm<sup>2</sup>과 164mm<sup>2</sup>이다.

매입강판과 거셋플레이트간의 용접시에 매입강판 주변 콘크리트의 용접열 영향을 알아보기 위한 실험체 제작 및 온도 계측은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 수행하였고, 온도계측을 위한 열전대는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 매입강판 중앙부에서 용접 반대편 즉, 콘크리트에 접하는 면, 스티드앵커와 매입강판이 접하고 콘크리트에 접하는 면의 2개소를 계측하였다.

연단거리가 10mm와 20mm인 경우는 연단거리가 매입강판 두께(40mm)보다 콘크리트에 접하는 거리가 짧기 때문에 상단면에서 콘크리트와 접하는 위치에도 열전대를 추가 설치하였다.

2G 수평자세 용접조건에서 부착된 계기에 설정한 전압 (V), 전류(A) 및 계측 용접시간의 평균값을 Table 3에 나타내었다.

### 2.3 온도 계측결과

용접열에 의하여 주변 콘크리트에 전달되는 온도변화를 Fig. 4에 도시하였다.

연단거리 140mm인 경우, 입열량이 크고 슬래그 제거 및 작업이동시간이 짧을수록 용접에 따른 최고온도가 다른 경우에 비하여 높게 나옴을 알 수 있다. 용접시의 매입강판 배면의 최고온도는 262~301°C의 범위내에 있었다. 용접시에 패스간 온도관리를 하지 않아서 매입강판 접한 콘크리트의 축열효과에 의하여 용접패스수가 증가함에 따라 매입강판의 온

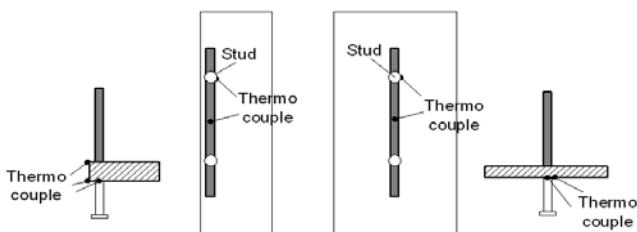


Fig. 3 Location of thermocouples

도는 증가하였다.

용접연단거리 10mm과 20mm인 경우, 측정위치 ②에서 연단거리와 상관없이 입열량이 크고 슬래그제거 및 작업이동 시간이 짧은 용접조건에서 약간 온도가 높게 나왔다. 용접시의 매입강판 배면의 최고온도는 209~227℃의 범위내에 있었다. 또한, 연단거리가 10mm와 20mm인 매입강판의 두께가 40mm로써 연단거리가 140mm인 매입강판의 두께 18mm에 비하여 매입강판 배면의 최고온도는 약 64℃ 낮게 나왔다. 한편, 측정위치 ①에서 연단거리가 10mm인 경우는 최고온도가 410℃로 연단거리 20mm인 경우에 비하여 100℃이상 높은 값을 보였다.

### 2.4 균열 및 콘크리트물성변화 양상

용접에 따른 매입강판 주변의 콘크리트의 균열양상을 Fig. 5에 나타내었다. 용접열에 의한 매입강판의 열팽창과 매입강판의 용접변형으로 콘크리트 균열은 매입강판 모서리에서 발생하였다. 또한, 균열깊이는 매입강판의 용접변형영향으로 매입강판의 두께정도이었다. 또한, 콘크리트의 균열폭으로는 콘크리트 타설 후 경과일이 길수록 작았다. 이는 Table 2에서 보는 바와 같이 콘크리트 재령일에 따른 압축강도의 증가의 영향이라 사료된다.

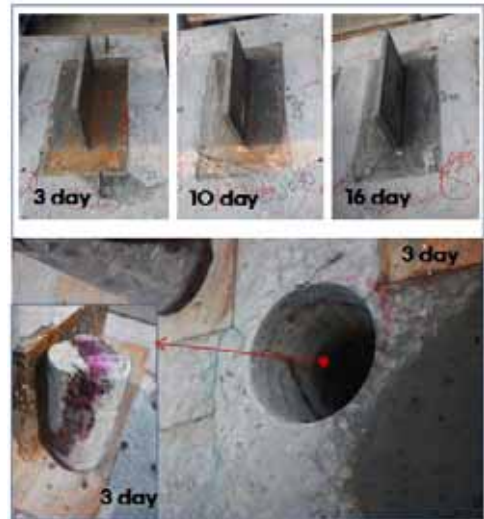
연단거리가 10mm인 경우, 매입강판 주변 콘크리트의 표면이 핑크색으로 변하여서 300℃~600℃의 온도변화가 있었음을 알 수 있다. 한편, 500℃정도의 고온시에 콘크리트는 화학반응을 일으켜 알카리성인 수산화칼슘이 열분해하여 중성화됨을 이용하여 매입강판 밑면 콘크리트의 물성변화를 조사하였다. 용접후 30일 경과시점에서 콘크리트 중성화 시험을 한 결과, 콘크리트 타설후 경과일수에 따른 용접조건에 상관없이 모두 매입강판주변으로 매입강판 밑면 콘크리트는 알카리 반응으로 핑크색으로 변하는 것으로 나타남에 따라 콘크리트의 중성화 양상은 보이지 않는 것으로 나타났다.

## 3. 용접시 매입강판 비정상 온도해석

### 3.1 해석모델링

범용 유한요소해석 프로그램 ANSYS를 이용하여 비정상 온도해석을 수행하였다. Fig. 6과 같이 2차원 모델링으로 사용요소는 Plane 55로써 용접진행에 따른 요소 생성과 소멸 기능을 부여하였다. SM490 강재와 80MPa 고강도 콘크리트에 대한 해석입력의 열특성값은 김홍열(2004, 2005), 권인규(2007)의 실험결과<sup>[4],[5],[6]</sup>를 바탕으로 Eurocode (Lennon

et al. 2007) 이론값을 이용하였다. 상부 대기에 면하는 플레이트와 콘크리트의 경계조건으로 열대류 25 W/m<sup>2</sup>k를 가정하였다. 대기온도는 현장계측시의 온도로서 10℃로 하였다. 해석의 간편함을 위해 현장계측을 통한 총용접 입열량은 같게하고 패스간의 속도는 평균값을 적용하였다. 또한, 용접

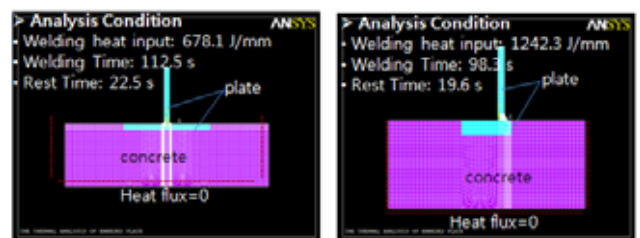


(a) Edge distance: 140mm



(b) Edge distance: 10mm and 20mm

Fig. 5 Concrete crack pattern and carbonation after welding



(a) Edge distance : 140mm (b) Edge distance : 10mm, 20mm

Fig. 6 Analysis models

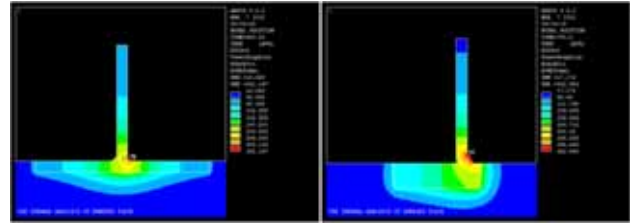
시간과 슬래그 제거시간은 현장용접과 해석간의 패스수의 차이를 고려하였다. 즉, 연단거리가 140mm인 경우, 현장용접시 12패스이나 해석시에는 8패스에 따른 평균 용접 및 슬래그 제거시간에 각각 1.5배 곱하여 산정하였다.

### 3.2 온도계측결과와 비교

콘크리트 타설 후 10일 경과시점에서 용접에 따른 매입강판의 단면 온도변화를 Fig. 7과 8에 나타내었다. 용접시 매입강판 배면의 온도는 최고온도가 연단거리가 140mm인 경우는 259℃, 연단거리가 20mm인 경우는 317℃를 나타내었다. 온도해석결과와 계측결과에 대해서 최고온도로 비교한 결과, 해석결과는 연단거리에 상관없이 최대 10%이내로 온도를 예측하고 있음을 알 수 있다. 또한, 용접진행에 따른 매입강판의 온도변화 패턴은 같은 양상을 보였다.

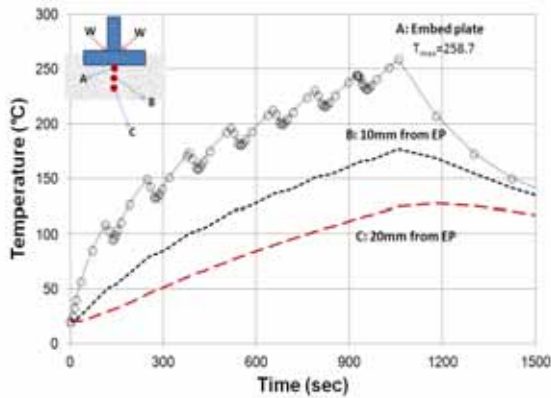
### 3.3 온도해석을 바탕으로 콘크리트 역학거동 검토

연단거리가 140mm인 경우, 매입강판 밑면에서 멀어질수록 콘크리트의 열적특성으로 콘크리트의 온도는 급격히 떨어지는 경향을 보이며, 10mm 떨어진 위치(B 지점)에서 콘크리트의 온도는 200℃이하로 예측되었다. 20mm떨어진 위치(C 지점)에서 콘크리트의 최고온도는 120℃로 나타났다. 또

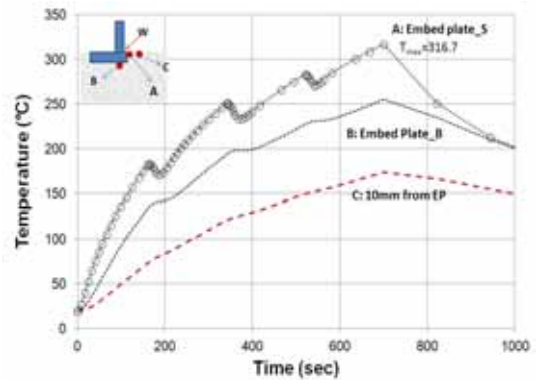


(a) Edge Distance : 140mm (b) Edge Distance : 10mm, 20mm

Fig. 7 Temperature distribution during welding

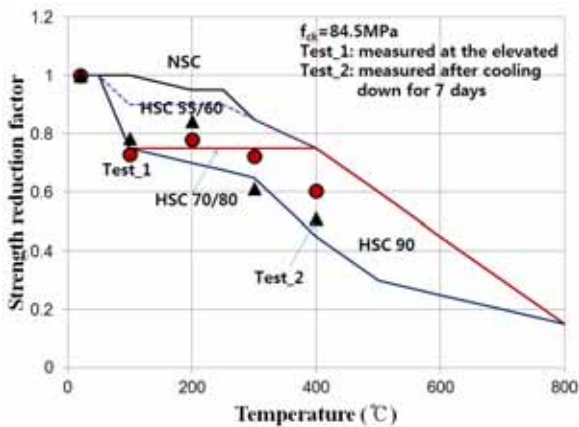


(a) Temperature distribution (edge distance:140mm)

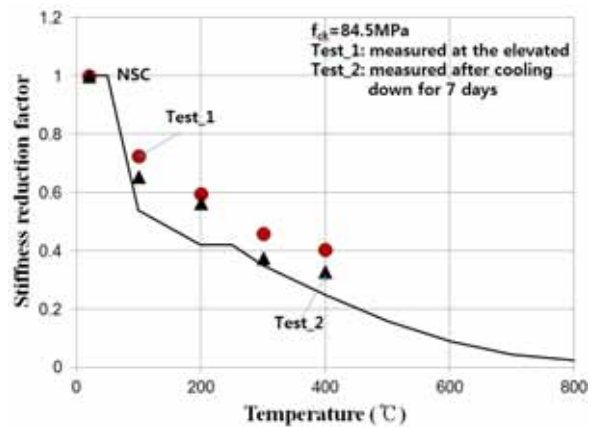


(b) Temperature distribution (edge distance:20mm)

Fig. 8 Analytical results in the concrete block and the embed plate (concrete age : 10 Day)



(a) Compressive strength



(b) Modulus of elasticity

Fig. 9 Concrete mechanical characteristics at high temperature

한, 연단거리가 20mm인 경우, 매입강판 측면에서 10mm 떨어진 위치(C 지점)에서 콘크리트의 온도는 200°C이하로 예측되었다.

압축강도 80MPa급 고강도 콘크리트의 고온시 역학적 특성에 대해서 실험결과를 Fig. 9에 나타내었다. 첫 번째 실험(Test1)은 사전재하없이 목표온도까지 1°C/min 매 100°C 온도상승시 마다 30분 유지하는 것으로 가열하였으며, 콘크리트 내부가 목표온도에서 열적 정상상태에 도달될 수 있게 60분동안 유지시킨 후, KS F 2405에 따라 공시체가 파괴될 때까지 하중을 가한 고온시 역학적 특성실험을 행하였다. 두 번째 실험(Test2)은 사전재하 없이 목표온도까지 가열 후 20°C, 상대습도 50%의 항온항습실에서 7일간 냉각한 후 KS F 2405에 따라 공시체가 파괴될 때까지 하중을 가한 고온-냉각시 역학적 특성실험을 행하였다. 고온시의 콘크리트의 특성은 100°C에서 급격히 상온시의 압축강도에 비하여 0.8 배로 저하하여 200°C까지 일정한 양상을 보였으며, 탄성계수의 경우는 100°C에서는 0.7배 200°C에서는 0.6배 이하로 저하하였다. 고온 압축강도/탄성계수와 냉각 후 잔존강도/탄성계수간의 차이는 거의 없었다. 따라서, 용접에 따른 매입강판 주변에서 10mm이내에 있는 콘크리트는 압축강도 및 탄성계수에서 상온시에 비하여 0.8배와 0.6배정도 저하하였음을 예측할 수 있다. 한편, Fig. 9에서 보는 바와 같이, 실험결과는 Eurocode (Lennon *et al.* 2007) 고강도 콘크리트의 역학적 특성과 거의 유사한 경향을 보였다.

### 4. 매입강판 접합성능평가

#### 4.1 실험체

건축구조물에서 RC코어벽체와 기둥간에 철골보가 설치되는 경우, RC부재와 철골부재간의 하중전달을 위해 매입강판을 설치한다. 이러한 상황의 하중 및 경계조건을 고려하여 실험체를 제작하였다 (Fig. 10 참조). Fig. 11은 콘크리트 블록에서 매입강판과 스티드앵커 접합 및 철근배근에 대한 제작상세를 나타내고 있다.

매입강판과 거셋플레이트, 전단스티드 앵커 및 콘크리트는 2장에 기술한 용접열 온도계측을 위한 실험체와 동일재로 제작하였다. 또한, 매입강판과 거셋플레이트의 크기는 용접열 계측 실험체와 동일하며, 전단스티드 앵커는 직경 19mm, 길이 280mm로써 간격은 수직방향 250mm, 수평방향 75mm로 총 9개를 수동 필렛용접 설치하였다. 스티드앵커 기계적 성질은 Table 1에 나타내었고, 용접재는 CSF-71T를 이용하여 모살 목두께는 7mm이상으로 하였다. 철근은 SD400재

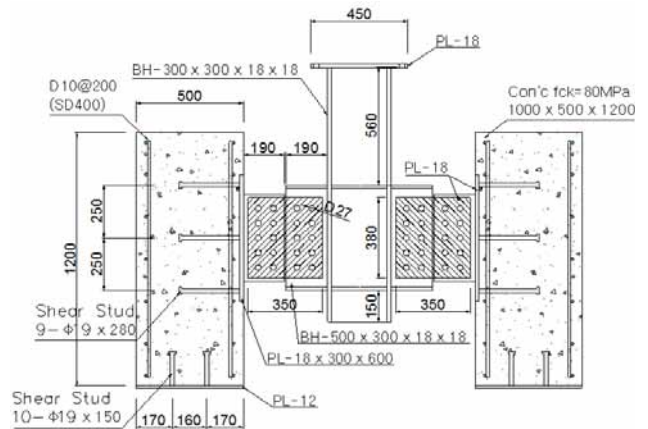


Fig. 10 Configuration for specimens



Fig. 11 Reinforcement and stud detail of specimens

Table 4. Field weld conditions (3F position)

Welding time after placing con'c	3 Day	10 Day	16 Day
Voltage (V)	22.5	23.5	24
Current (A)	150	165	162
Welding passes (n)	12 (Left 6, Right 6)	12 (Left 6, Right 6)	12 (Left 6, Right 6)
Welding speed (cm/min)	15~24 (ave.18)	12~20 (ave.16)	16~22 (ave. 19)
Time of cleaning slag or movement (sec)	ave. 27.6	ave. 35.8	ave. 26.1
Heat input (J/mm)	ave. 1133.5	ave. 1425.2	ave. 1242.3

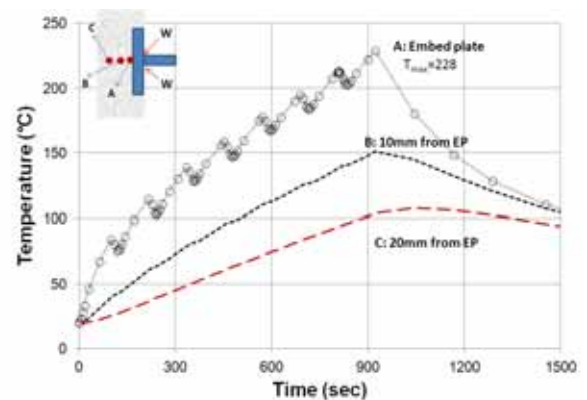


Fig. 12 Temperature distribution during welding process

이며, 벽체 최소철근비로 하여 D10를 수직/수평방향으로 200mm간격으로 하였다. 매입강판과 거셋플레이트간의 용접 자세가 용접열 계측에서는 2G 수평자세이나 현장상황을 고려하여 접합성능평가 실험체의 경우는 3G 수직자세로써 용접조건은 Table 4에 나타내었다. 매입강판과 콘크리트가 접하는 면은 콘크리트의 부착을 고려하지 않기 위하여 매입강판의 후피를 제거하지 않았다.

실험변수로는 콘크리트 타설후 매입강판 용접시점에 따른 매입강판 주변의 콘크리트의 물성변화와 매입강판 용접변형 및 콘크리트 균열등에 따른 매입강판 접합성능을 파악하고자 콘크리트 타설전 용접, 타설후 3일, 10일, 16일 경과시점에서 용접으로 하였다.

접합성능평가 실험체의 현장용접조건에 따른 매입강판 주변의 용접열영향으로 3.1절에 기술한 비정상 온도해석 수행한 결과를 Fig. 12에 나타내었다. 온도해석결과, 매입강판 주변 온도는 Fig. 8(a)에 비하여 약 15% 이내로 거의 비슷한 값을 나타냈다.

### 4.2 실험방법

매입강판과 거셋플레이트간의 접합이 코아벽체에서 이루어지는 것을 고려하여 실험체 셋업을 Fig. 13에 나타내었다. 하중재하는 기계식 변위제어형 시험기 10MN UTM을 이용하고, 3점 휨방식으로 휨진단실험을 행하였다. 실험체 횡방향이동을 축 600mm의 블록으로 구속하였다. 하중은 시험기에 내장된 로드셀로 계측하고, 실험체의 변형은 Fig. 13에서 보는 바와 같은 위치에 설치한 변위계로 실험체 중앙가력부의 수직변위와 지지부의 수직변위를 좌우양측에 대해서 각각 계측하였다.

또한, 스트레인 게이지를 이용하여 매입강판에서 100mm 떨어진 위치에서 거셋플레이트 상하면에 첨부하여 거셋플레이트의 하중전달 상황을 파악하고자 하였다.

재하이력은 초당 0.02mm의 가력속도로 일방향 점증변위 재하를 하였으며, 실험을 통한 재하제어는 실험체 중앙가력부의 수직변위의 평균치를 이용하였다. 최대하중 이후 최대하중의 70%이하로 저하되는 시점에 실험을 종료하였다.

### 4.3 실험결과

#### 4.3.1 실험체 거동

하중증가에 따른 거셋플레이트의 하중변화를 보면, Fig. 14에서 보는 바와 같이 가력 초반에 하부는 인장, 상부는 압축을 보이다가 하중증가에 따라 매입강판의 슬립에 따른 매

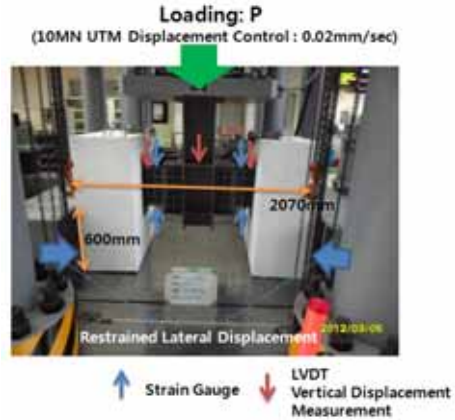


Fig. 13 Experimental setup for push-out test

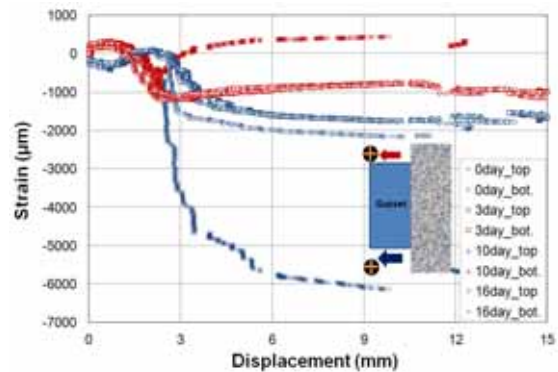


Fig. 14 Strain-displacement curves of gusset plates

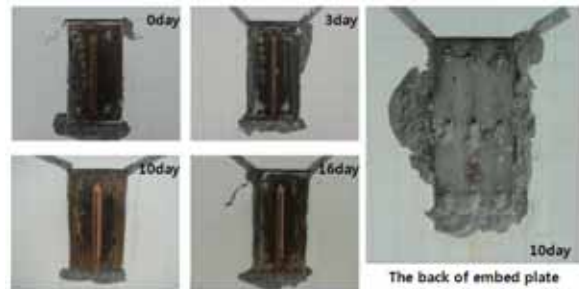


Fig. 15 Failures modes of push-out specimens

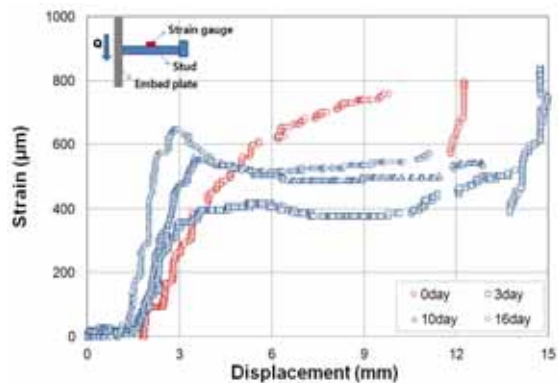


Fig. 16 Strain-displacement curves of shear studs

입강판 하단부의 콘크리트의 지압저항과 횡구속에 따라 거셋 플레이트 상하단은 전부 압축으로 나타내었다. 압축정도는 하단부에서 상단부에 비하여 크게 나타났다. 한편, 용접 열영향을 받지 않은 실험체의 경우는 가력초기에는 다른 실험체와 동일한 경향을 보이다가, 매입강판이 2.4mm슬립 이후에 거셋플레이트 상단은 인장, 하단은 압축으로 변화였다.

실험종료 후 엠베트플레이트 주변 콘크리트 파괴상황을 Fig. 15에 나타내었다. 매입강판 하단부 콘크리트 지압파괴와 매입강판 측면부 콘크리트 부착/마찰에 의한 파괴가 일어났다. 매입강판 배면의 콘크리트 파괴양상을 보면, 콘크리트의 압축강도가 77MPa로 고강도로써 콘크리트의 구속효과로 스티드앵커의 휨변형은 적어 스티드앵커 하단부에 콘크리트 지압파괴가 발생하였음을 알 수 있다. 매입강판과 콘크리트가 접하는 면은 매입강판의 흑피가 남아있어 부착에 의한 콘크리트의 파괴양상이 보이지 않았다. 스티드앵커 파괴는 용접부 바로 위에서 일어났다.

스티드앵커에 걸리는 하중을 파악하고자 가운데 라인에 스티드앵커 중앙부(매입강판 배면에서 140mm 떨어진 위치)에 스트레인 게이지를 첨부하여 얻은 결과를 Fig. 16에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이, 가력 초기에는 스티드앵커는 하중을 받지않은 상태이며, 매입강판의 슬립이 1~2mm의 시점에서 서서히 하중을 받는 것을 알 수 있다. 또한, 매입강판의 슬립이 3mm를 초과하는 시점에서는 스티드앵커의 하중의 증가는 전체적으로 둔화하였음을 알 수 있다. 또한, 최대하중시점에서 스티드앵커의 변형률은 약 400~600 $\mu$ m정도로 나타났다. 이는 고강도 콘크리트에 따른 스티드앵커의 휨변형이 매입강판에 접하는 스티드앵커 하단부에 집중되었음을 알 수 있다.

### 4.3.2 하중-변위관계

콘크리트 타설 후 매입강판과 거셋플레이트 용접시점에 따른 접합성능실험으로 하중과 변위(슬립)관계를 Fig. 17에 나타내었다. 또한, 초기강성 및 최대하중을 Table 5에 나타내었다. 여기서, 초기강성은 최대하중의 60%시점의 기울기로 산정하였다. Fig. 17에서 보는 바와 같이, 매입강판 슬립이 3mm되는 시점에 매입강판과 거셋플레이트간의 용접열 영향과 상관없이 최대하중이 나타났다. 또한, 매입강판 슬립이 10mm이 도달할 때까지 내력은 서서히 감소하다가 그 이상의 슬립에서 내력이 급속히 저하하였다. 강성으로 초기에는 매입강판 하단부의 콘크리트 지압에 의해 강성이 크게 나왔으며, 지압 균열 후에 강성이 저하하여 최대하중까지 선형적으로 매입강판 슬립에 대해서 하중이 증가하였다. 콘크리트 타설 후 용접한 실험체의 경우, 초기강성이 변하는 시점으로

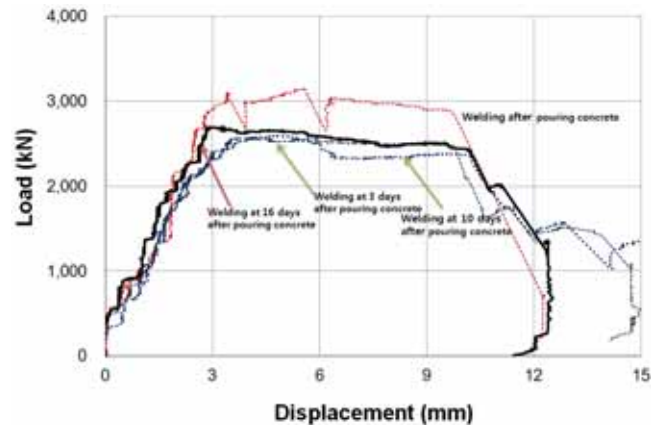


Fig. 17 Comparison of load-displacement curves for Push-out tests

Table 5. Comparison on the results from the Test

Welding Time after Placing Con'c	0 Day	3 Day	10 Day	16 Day
Stiffness (kN/mm)	1107.1	1029.3	1053.2	1056.8
Ratio of the stiffness	1.0	0.93	0.95	0.95
Maximum load (kN)	3141.5	2566.9	2594.7	2697.0
Ratio of the maximum load	1.0	0.81	0.83	0.86

350kN~470kN으로 용접열영향을 받지 않은 실험체의 초기 강성이 변하는 하중 505kN보다 약 5~30% 작게 나왔다. 이는 용접에 따른 매입강판의 용접변형에 따른 것이라 사료된다. 또한, Table 5에서 보는 바와 같이, 최대하중의 60% 하중의 강성으로는 용접열영향을 받지 않은 실험체에 비하여 약 7%정도 작게 나타났다. 콘크리트 타설 후 용접시점에 따른 강성변화는 미비하나, 콘크리트 타설 후 재령이 길어질수록 강성이 증가하는 경향을 보였다. 최대하중을 보면, 용접 후 타설한 실험체가 다른 실험체 대비 최대 20% 큰 값을 보였으며, 타설 후 용접한 실험체의 내력은 타설 후 재령이 길수록 내력이 5%이내 상승하였다.

### 4.3.3 이론값과 비교

일본 건축학회(일본건축학회, 2010) 스티드앵커 설계를 이용<sup>[7]</sup>하였으며, 본 연구에서는 스티드앵커의 전단내력으로 전단강도가 아닌 인장강도로 평가하였다. 용접열 영향을 받는 매입강판의 전단내력값(Q)은 전단스티드 앵커에 의한 전단저항 내력값(Q<sub>s</sub>)과 지압응력을 고려한 콘크리트 전단저항 내력값(Q<sub>c</sub>)중 작은 값으로 하였다. 또한, 매입강판과 거셋플레이트 용접열영향으로 매입강판 주변 콘크리트 및 스티드앵커의 물성변화를 고려하였다.



$$Q = \min(Q_c, Q_s) \quad (1)$$

$$Q_c = 0.5nA_{sc}\sqrt{k_f \times f_{ck} \cdot k_e \times E_c} \quad (2)$$

$$Q_s = nA_{sc}k_sF_u \quad (3)$$

$Q_c$  : 콘크리트 전단저항 내력

$Q_s$  : 스티드앵커 전단저항 내력

$A_{sc}$  : 스티드앵커 단면적 (=283.5mm<sup>2</sup>)

$n$  : 스티드앵커 개수 (=18EA)

$f_{ck}$  : 콘크리트 압축강도 (=77MPa)

$E_c$  : 콘크리트 탄성계수 (36133.7MPa)

$k_f$  : 용접열에 의한 콘크리트 압축강도 저감계수 (최고온도 250°C에 대응 0.68; Eurocode 계수값)

$k_e$  : 용접열에 의한 콘크리트 탄성계수 저감계수 (최고온도 250°C에 대응 0.42; Eurocode 계수값)

$F_u$  : 스티드앵커 인장강도 (=470MPa)

$k_s$  : 용접열에 의한 스티드앵커 인장강도 저감계수 (= 최고온도 250°C에 대응 1.0; Eurocode 계수값)

온도에 따른 저감계수에서 최고온도는 Fig. 15에서 보는 바와 같이 고강도 콘크리트에 따른 실험체 파괴양상을 고려하여 매입강판과 콘크리트 경계면에서의 온도로 가정하였다. 콘크리트 전단저항 내력으로 용접열 영향을 고려하여 콘크리트의 압축강도 및 탄성계수를 저감한 이론값은 2266.3kN으로 용접열 영향을 고려하지 않은 경우의 이론값 4,256.4kN에 비하여 0.47배 저감하였으며, 스티드앵커 전단저항 이론값 2,398.7kN보다 약간 낮게 나타났다.

Table 6에서 보는 바와 같이 산정한 이론값을 실험결과와 비교한 결과, 용접열 영향을 고려하지 않은 경우의 실험값은 이론값에 비하여 31% 높게 나왔으나, 용접열영향을 받은 실험체의 실험값은 13~19%정도 높게 나왔다. 이는 매입강판이 콘크리트내에 삽입되어 있는 상태로서 매입강판 하단부 콘크리트가 지압저항을 이론값에서는 고려하지 않았기 때문이라 판단된다.

Table 6. Comparisons between test and analysis values

Welding time after placing concrete	0 Day	3 Day	10 Day	16 Day
Experimental value	3141.5	2566.9	2594.7	2697.0
Analysis value	2398.7		2266.3	
Difference	1.31	1.13	1.14	1.19

## 5. 결 론

열에 취약한 고강도 콘크리트에 대해서 매입강판과 거셋플레이트간의 용접접합에 따른 매입강판 주변 콘크리트 온도계 측 및 접합성능평가 실험을 행하였다.

본 연구에서 얻어진 주요 결과를 요약해 보면 다음과 같다.

- (1) 18mm와 40mm두께 매입강판 용접열 영향에 따른 매입강판 배변 콘크리트의 온도는 최고온도 262~301°C와 209~227°C정도로 나타났으며, 연단거리가 10mm인 경우는 매입강판 상부와 접하는 콘크리트 표면에 400°C이상 콘크리트가 고온을 받음에 따라 콘크리트 표면 탈색이 있었으나, 중성화반응이 일어나지 않았다.
- (2) 80MPa급 콘크리트의 고온물성 및 냉각 후 물성변화에 대해서 유로코드와 유사한 경향을 보였으며, 고온시 압축강도 및 탄성계수는 냉각 후 잔존강도 및 탄성계수와 거의 일치하는 값을 보였다.
- (3) 실물대 매입강판의 전단실험을 통하여, 매입강판 용접열 영향에 대해서 용접에 따른 초기강성은 7% 이내로 감소하였으며, 콘크리트 타설 후 용접시점에 따른 영향은 크지 않았다.
- (4) 실물대 매입강판의 전단실험을 통하여, 매입강판 용접열 영향에 대해서 용접에 따른 최대하중은 14~19% 이내로 감소하였으며, 콘크리트 타설 후 용접시점에 따른 영향으로 타설 후 재령이 길수록 최대하중은 상승함을 알 수 있었다.
- (5) 용접열 영향을 받는 매입강판의 실험값은 용접으로 온도 상승에 의한 재료의 강도저감을 고려한 매입강판의 전단 내력값보다 13~19% 이론값보다 높게 나왔다. 한편, 용접열영향을 받지 않은 실험체의 실험값은 31%로써 높게 나왔다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2011년도 첨단도시개발사업(초고층빌딩 시공기술 연구단, 09 첨단도시 A01)에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌(References)

- [1] Kimpel, A., Lisiecki, A., and Szlek, J. (2007) Welding of Girders to Insert Plates of Composite Steel-Concrete Structure, *Journal of Achievements*

- in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 24, No. 1, pp.397-404.
- [2] Shahrooz, B.M., Deason, J.T., and Tunc, G. (2004) Outrigger Beam-Wall Connections. I: Component Testing and Development of Design Model, *Journal of Structural Engineering ASCE*, Vol. 130, No. 2, pp.253-261.
- [3] Shahrooz, B.M., Tunc, G., and Deason, J.T. (2004) Outrigger Beam-Wall Connections. II: Subassembly Testing and Further Modeling Enhancements, *Journal of Structural Engineering ASCE*, Vol. 130, No. 2, pp.262-270.
- [4] 김홍열, 서치호(2004) 고온 가열시 콘크리트의 강도 영역별 물리적 특성에 관한 실험적 연구, *대한건축학회논문집*, 대한건축학회, 제20권, 제11호, pp.75-82.  
Kim, H.Y. and Seo, C.H. (2004) An Experimental Study on the Physical Properties by Compressive Strength Areas of Concrete at High Temperature, *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 20, No. 11, pp.75-82 (in Korean).
- [5] 김홍열, 서치호, 신현준(2005) 고온영역에서 강도영역별 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, *대한건축학회 논문집*, 대한건축학회, 제21권, 제7호, pp.55-66.  
Kim, H.Y., Seo, C.H., and Shin, H.J. (2005) An Experimental Study on the Mechanical Properties by Compressive Strength Areas at High Temperature, *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 21, No. 7, pp.55-66 (in Korean).
- [6] 권인규(2007) 고열환경에서의 구조용 강재 특성 데이터 베이스 구축, *한국화재소방학회논문집*, 한국화재소방학회, 제21권, 제3호, pp.47-55.  
Kwon, I.K. (2007) Derivation of the Mechanical Properties of Structural Steels at High Temperatures, *Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering*, Vol. 21, No. 3, pp.47-55 (in Korean).
- [7] 日本建築學會 (2010) 各種合成構造設計指針.同解説, 日本建築學會, pp.236-246.  
AIJ (2010) Design Recommendations for Composite Constructions, pp.236-246 (in Japanese)

**요 약:** 초고층 건축물의 RC 코아벽체 선행공법에서는 일반적으로 벽체와 철골보사이의 접합을 위해 강판을 벽체에 매입설치한다. 코어벽체에 설치한 매입강판에 철골보를 접합하기 위해서는 거셋플레이트(또는 단일판)를 사용하여 매입강판에 T-형으로 용접한다. 이에 용접 입열에 의해서 매입강판은 열팽창과 용접변형이 발생하고 매입강판 주변 콘크리트 온도상승을 주어 구조적 안정성 평가가 필요하다. 이에, 본 연구에서는 매입강판과 거셋플레이트 사이의 용접자세(수평 및 수직자세), 콘크리트 타설후 용접시점 및 매입강판의 연단거리에 따른 매입강판 배면온도를 계측 하였다. 또한, 비정상 온도해석을 통하여 실험결과와 비교하였다. 다음으로 매입강판에 스티트앵커 접합한 후, Push-out 실험을 통한 구조성능을 조사하였다. 전단실험 결과 매입강판 용접열영향에 대해서 용접에 따른 최대하중은 14~19% 이내로 감소하였으며, 콘크리트 타설 후 용접시점에 따른 영향으로 타설 후 재령이 길수록 최대하중은 상승함을 알 수 있었다.

**핵심 용어:** 매입강판, 용접열, 비정상 온도해석, 고강도 콘크리트재령