

## P.C. 공사의 구조적 성능향상을 위한 연구 Improvement of Structural Capacity in the Precast Concrete Construction



음 성 우\*

### 1. 개 요

#### 1.1 연구목적

국내 P.C. 공법들은 거의 대부분 외국에서 실제로 많이 사용했던 공법을 들여왔기 때문에 기본적으로 공법자체의 문제는 상당부분 해결된 것으로 간주해도 무리는 없으리라 판단된다. 문제는 도입된 공법들이 공장생산방식, 구조방식, 시공방식 등 여러가지 측면에서 서로 다른 형식을 취하고 있기 때문에 국내 건설환경과 적지 않은 부분에서 차이를 보이고 있어 국내실정에 맞는 공법의 개선 노력이 상당부분 필요하다고 판단된다. 특히 시공상의 품질관리 측면을 살펴볼 때는 현실성 있는 대응책을 강구해야 할 실정이다. P.C. 공법이 현장에서 제대로 적용될 경우 절대 공기단축은 물론 인건비 및 경비 절감효과가 R.C.조에 비해 월등해서 건설부문의 획기적인 공법으로 부상할 가능성이 있다. 또한 품질관리, 양산 및 안정된 공급이라는 측면에서도 기대가 되어진다. 그러나 P.C. 공법은 미리 정확하게 계획된 설계도서를 가지고 공장

생산된 벽체, 바닥판부재 등을 현장에서 서로 정확하게 조립해야 하기 때문에 일체식 R.C. 공법보다 설계 생산 시공 과정 중에서 어느 한 곳에서라도 문제가 발생할 경우 기존 R.C. 공법에 대한 비교우위의 장점을 상실할 수도 있다.

P.C. 공법은 조립과정에서 접합부처리 및 상하벽체의 일체성 확보에 세심한 주의가 필요하다. 그 이유는 현장조립과정에서 주택의 구조성능 및 사용성 측면이 품질관리여하에 따라 상당한 영향을 받을 수 있는 특성을 갖기 때문이다. 본 연구는 이러한 조립식 주택공사에서 특히 중요시되는 수직접합부 충전성 및 벽체상하간의 수직연결부의 원활한 일체성 확보를 위한 방안을 강구함으로써 궁극적으로 P.C. 공사의 구조적 성능을 향상시키기 위한 종합 연구보고서이다. 각 주제별로 연구 목적을 요약 정리하면 다음과 같다.

#### 1.1.1 P.C. 수직접합부 충전용 모르터에 관한 연구

본 연구는 1, 2차로 구분하여 1차적으로는 수직접합부 충전용 모르터의 배합비결정 및 접합부절단에 의한 충전상태 확인에 관한 연구, 2차적으로는 팽창제를 사용한 수직접합부 충전용 모르터의

\* 정희원, 금호건설기술연구소 전임연구원, 공박

개발에 관한 연구로 나누어 실시하였다.

1차 연구는 P.C.수직접합부의 구조적 성능과 건축적 성능을 만족시킬 수 있으며 시공성이 우수한 충전용모르터의 최적배합설계를 도출코자 하는 것을 1차적인 목적으로 하고 있다. 그리고 최적배합으로 설계된 모르터를 실물크기의 수직접합부 시험체에 타설하여 충전성확인과 압축강도의 확보여부를 검토하는 것을 2차적인 목적으로 하고 있다. 충전용모르터에 대한 실험은 국내에서는 거의 전무한 실정이며 공인기관의 규정도 기본적인 규정에 지나지 않아 수직접합부 충전용 모르터에 대한 실험은 필수적이라고 할 수 있다.

2차 연구는 팽창제를 P.C.수직접합부 충전용 모르터의 혼화제로서 사용하여 그 성능을 강도적인 측면과 시공적인 측면, 그리고 팽창성에 대한 측면에서 기초적으로 실험하고 P.C.수직접합부의 요구성능과 경제성에 가장 적합한 배합을 결정하는 것을 1차적인 목적으로 하고 있다. 그리고 결정된 배합을 주문생산방식에 의한 배합방법으로 현장실험을 실시하여 현장상황에 가장 적합한 배합으로 조정하는 것을 2차적 목적으로 하고 있다. 팽창제를 사용한 충전용 모르터는 수직접합부의 미소균열방지에도 유리하게 작용하리라 판단되는데 국내에서 팽창제에 대한 보다 체계적이고 구체적인 연구는 아직 미비한 실정이어서 연구결과는 P.C.공사를 포함한 여러 건설공사에서 유용한 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

### 1.1.2 비파괴시험(초음파법)을 통한 P.C.수직접합부에 대한 충전성확인에 관한 연구

국내 건설 각사의 P.C.공법 시스템은 주로 해외에서 기술도입된 것으로서 당사가 채택하고 있는 덴마크의 LN공법은 수직접합부 형식이 폐쇄형으로 구성되어 있다. 폐쇄형 접합부(closed joint)는 개방형접합부(opened joint)와 비교해 볼 때 방수/방음 등의 성능 및 시공성이 우수한 것으로 알려져 있으나, 접합부 간격이 16mm에 불과하여 시공과정에서 접합부에 대한 모르터 충전상태의 확인이 어려운 점이 있다.

본 연구는 품질관리 측면에서 폐쇄형 수직접합부의 충전상태 확인을 위해서 실물시험체를 제작

하여 비파괴시험을 실시한 것으로서 이로부터 얻은 실험데이터를 절단면의 상태를 토대로 분석하여 비파괴시험을 통한 충전성 확인에 필요한 기초 자료를 제시하고자 하는데 그 목적이 있다. P.C.접합부의 충전성 확인을 위한 비파괴시험 연구결과는 국내외적으로 거의 전무한 상태로서 비파괴시험의 선택에 어려움이 있었던 것은 사실이다. 일반적으로 균질체로 된 모재내에 균열이나 공동이 있는 경우 이의 탐지방법으로는 충격파법이 적절한 것으로 판단되지만 당사의 수직접합부는 모재 콘크리트와 접합부 모르터로 구성된 이질복합체라는 점을 감안하여 본 연구에서는 초음파법을 사용하여, 당사의 음성 P.C.공장에서 미리 제작된 대형 콘크리트 판넬(두께 15cm)을 가지고 제작한 I자형 접합부 18개의 실물시험체중 11개에 대하여 비파괴시험을 실시하였다. 본 연구에서 시도한 초음파법에 의한 비파괴시험이 폐쇄형 수직접합부의 모르터 충전성 확인에 대한 최적의 방법이라고 단언하기는 어렵지만, 향후 P.C.접합부의 비파괴시험 관련 연구의 기초자료로 제공하고자 한다.

### 1.1.3 P.C.수직결속근 연결장치의 개선에 관한 연구

현재 국내 P.C.공법이 기존의 R.C.공법과 비교하여 볼 때 큰 차이점중의 하나는 상하벽체의 일체성이 벽체단부에 설치된 수직철근에 의해서 주로 확보된다는 점이라 할 수 있다. 따라서 상하수직철근의 결속은 구체적으로 아주 중요한 의미를 갖는다. 대부분의 P.C.관련사가 사용하고 있는 벽체상하 수직결속근의 연결방법은 외국에서 도입된 P.C.공법에 따라 여러 형태를 취하고 있다. 당사의 경우는 coupler를 사용하여 벽체상하 수직철근을 결속하고 주름관내에 모르터를 주입시켜 상하벽체를 일체화시키는 시스템으로 정밀한 시공시에는 상당히 우수한 구조성능을 갖는 반면, 주름관으로 인한 생산비용의 상승과 제작의 어려움이 있고 시공오차의 흡수능력이 부족한 단점을 가지고 있다. 따라서 본 연구는 기존의 coupler 시스템의 단점을 보완하고 지금까지 나타난 문제점을 개선하여 P.C.공법의 궁극적 목표인 공기를 단축하고 경제적인 시공과 충분한 구조성능을 갖는 시

시스템을 구축하므로써 궁극적으로 실제 시공현장에 적용가능한 개선안을 개발하고자 하는데 본 연구의 목적이 있다.

## 1.2 연구과정

전체적인 연구추진 과정을 살펴보면 그림 1과 같다.

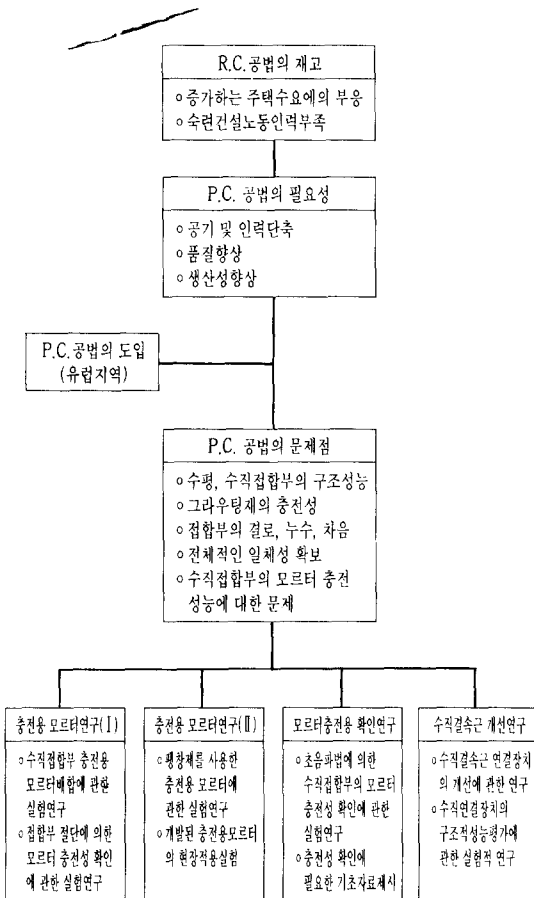


그림 1. 전체적인 연구추진 과정

## 2. P.C.수직접합부 충전용 모르타르에 관한 연구

### 2.1 수직접합부에 요구되는 성능

수직접합부의 구조적 기능은 P.C. 벽판을 I자형, T자형 또는 +자형으로 접합하여 일체성을 이

룸으로써 힘의 전달을 원활히 하고 상대변위가 생기지 않도록 하는 것이다. 수직접합부가 받는 힘은 접합되는 벽체의 중력하중 차이와 수평하중에 의한 모멘트로 인하여 생기는 전단력이며, 이러한 외부힘에 의하여 수직접합부에는 미끄럼 변형과 벌어짐 변형이 발생한다. 따라서 이러한 모멘트와 전단력에 대하여 접합부가 충분한 강도를 가지고 그에 대한 보강이 되어 있는 경우에만 수직접합부의 구조적 안전성이 확보된다. 전체적으로 수직접합부가 가져야 할 요구사항은 다음과 같다.

- 구조적 요구사항 : 소정의 내력과 강성을 가져야 하며 힘의 전달이 확실해야 한다.
- 건축적 요구사항 : 미적인 형태를 해치지 않도록 해야 한다.
- 기후적 요구사항 : 방수 및 단열이 잘되어야 한다.
- 환경적 요구사항 : 소음차단이 확실하고 방음이 잘되어야 한다.
- 기술적 요구사항 : 생산과 시공이 간편해야 한다.

### 2.2 모르타르 타설시 예상되는 문제점

#### 1) 재료 및 배합

모르타르의 품질 및 시공성은 세골재의 품질, 배합량 및 믹서의 성능에 의해 크게 좌우되는 특징을 가지고 있어 믹서와 같은 시공기기 및 모르타르에 요구되는 성질에 따라 배합 및 재료를 선정하는 것이 매우 중요하다.

#### 2) 타설직후의 급격한 건조수축에 의한 균열

모르타르가 아직 굳지 않은 상태, 또는 경화초기 단계에서 급격한 수분증발 등에 의해 체적감소가 일어나며 그로 인하여 균열이 발생한다. 이러한 균열의 발생에는 표면에서의 수분증발속도, 블리딩수의 상승속도, 표면콘크리트의 수축량 등이 영향을 끼친다. 이러한 현상이 발생할 수 있는 조건은 공기가 건조할 때, 기온이 높고 직사광선을 받고 있을 때, 바람이 강하게 불 때이며 이러한 환경 조건에서는 특히 유의하여 모르타르 타설후 바로 타설면을 일사광선이나 바람에 노출되지 않도록 보호하고 물을 뿌려주거나 양생재를 도포해 주는 것

이 중요하다. 그리고 모르타가 경화하기 전에 재진동이나 다짐 등을 해주는 것도 균열발생 억제에 효과적일 수 있다.

### 3) 침하 또는 블리딩에 의한 균열

모르타는 비중이 각기 다른 시멘트, 모래, 물의 혼합물로서 더우기 소정의 워커빌리티를 얻기 위해서는 통상적으로 시멘트의 수화반응에 필요한 양보다 훨씬 많은 물이 사용되어 타설된 모르타는 블리딩과 함께 침하한다. 그러한 침하가 고정된 수평철근, 매설물 등에 의해서 방해받을 경우 철근상하부에 균열이 생길 수 있으며 그 균열은 수직접합부의 내력저하를 가져올 수 있다. 따라서 이러한 균열을 방지하기 위해서는 배합시에 블리딩이 적고 침하량이 적은 모르타를 만들어야 하며 타설시 콜드조인트(cold joint)가 생기지 않도록 시간간격을 두어 침하, 블리딩이 정지한 후 단계적으로 타설해야 한다. 더우기 마무리 전에 재진동을 실시하는 것도 매우 유효하다.

### 4) 그 밖의 원인에 의한 균열

미리 제작된 콘크리트 부재와 타설모르타의 부착이 불량하면 접촉면에 균열을 발생시키고 그 균열은 구조적 또는 사용성 측면에서 문제가 야기될 수 있다. 그러므로 타설전에 수직접합부에 물을 충분히 뿌려 주어 콘크리트 부재와 모르타와의 부착을 높여준다. 거푸집 설치불량도 균열의 원인이 된다. 거푸집과 부재면과의 밀착이 부실하거나 모르타 타설시 측압 등의 이유로 거푸집상태가 느슨해지면 모르타의 유출과 침하로 인하여 균열이 발생할 수 있다. 이러한 균열을 방지하기 위해서는 시멘트 페이스트가 유출되지 않도록 거푸집설치를 견고하게 하여야 하며 무리한 다짐에 의한 타설은 피해야 한다. 또한 모르타 경화중인 상태에서 진동이나 하중 등의 작용을 받으면 모르타에 균열을 발생시킬 수 있다. 이러한 균열은 구조상의 결점이 될 수 있으므로 타설후에 진동이나 하중 등의 원인이 되는 요소를 반드시 제거해야 한다.

## 2.3 외국 및 국내 현황조사

### 1) 덴마크의 경우(CONDANA a/s사)

수직접합부의 모르타는  $W/C=45\%$ ,  $C:S=1:3$ , 팽창제 $=C \times 0.4\%$ 의 값을 사용하여 배합할 것을 추천하고 있으며 타설후는 붐이나 바이브레이터에 의한 다짐을 요구하고 있다. 수직접합부의 재료시방서에 따르면 접합부 모르타의 요구강도는  $25N/mm^2$  이상(BS 8100)이며 팽창제를 사용하고 있다.

2) 일본의 경우(일본건축학회 프리캐스트 철근 콘크리트구조의 설계와 시공시방서)

접합부용 충전재료로서는 콘크리트와 모르타를 사용하도록 하고 있다. 콘크리트의 경우는 사용 조골재를 15mm이하로 규정하고 있으며 모르타의 배합조건은  $C:S=1:2$ , FLOW값 $=150mm \sim 160mm \pm 10mm$ , 물시멘트비 $=60\%$ 이하로 권고하고 있다. 그리고 시스판 등에 충전되는 모르타는 특수혼화제를 혼합한 특수 모르타가 많이 사용된다.

표 1 P.C.관련사의 수직접합부용 모르타 배합비( $1m^3$ 당)

회사명	혼화제 종류	W/C (%)	물 (kg)	시멘트 (kg)	모래 (kg)	AD (kg)	C:S	AD/C (%)
A사	H사 제품	55	327	585	1338	29.75	1:2.2	5
B사	H사 제품	50	270	540	1350	27~54	1:2.5	5~10
C사		50~55	293~314	560~570	1312~1351		1:2.3	
D사		45~55	250~290	520~560	1350		1:2.4~2.6	
E사	무수축 그라우트제 사용(M사 제품)							

주 1) A사인 경우  $W/C=45\%$ ,  $C:S=1:2$ , CONBEX 422 $=5\%$ /C의 배합으로 최근 바뀌었음

2) D사 배합비인 경우는 P.C. 접합부 설계방식 개발을 위한 실험연구에서 사용

### 3) 국내현황

현재 국내 P.C. 업계에서는 수직접합부의 시공 방식을 습식공법으로 사용하고 있다. 그러나 각 사마다 수직접합부의 형식이 조금씩 다르며 배합 및 타설방법에 약간씩 차이를 보이고 있다. 그래서 각 P.C. 관련사들은 여러가지 시행착오를 겪으면서 최근에는 자체 현장 배합을 조정해서 사용중이다. 표 1은 국내 몇몇 P.C. 관련사의 수직접합부용 모르타 배합비를 나타낸 것이다. 한편 건설부 P.C.조립식 건축 공사 표준시방서에 따르면 충전용 모르타는 설계기준강도  $210kg/cm^2$  이상,  $C:S=1:2 \sim 1:2.5$ ,  $W/C=60\%$  이하, 플로우값:  $140 \sim 160mm$ 로 규정하고 있다.

## 2.4 수직접합부 충전용 모르터의 배합비 결정 및 접합부 절단에 의한 충전상태확인에 관한 연구

### 2.4.1 실험 개요

실험은 크게 기초배합실험과 3차에 걸친 실물크기의 수직접합부 시험체에 대한 충전상태확인 실험으로 구분하여 실시하였다. 기초배합실험은 P.C. 수직접합부의 충전용모르터의 배합을 결정하기 위한 실험으로 국내에서 생산되는 팽창성 혼화제 및 국내에서 사용중인 접합부용 모르터 배합에 대한 특성을 파악하고 시공성을 우선적으로 고려하였으며 결정된 모르터배합비는 표 2와 같다.

표 2 모르터 배합비

배합명	혼화제 종류	W/C(%)	C:S	AD/C(%)
A	팽창성 그라우트 첨가제	48	1:2	4
B	팽창제	53	1:2	1
C	팽창제+유동화제	45	1:2	각1
D	H사 공장제품			

표 3 실험조건

시험체 번호	배합조건	다짐조건	거푸집조건
I-1	A	부다짐	각목
I-2	A	Vibrating	RUBBER FORM+각목
I-3	A	부다짐+Vib.	RUBBER FORM+각목
I-4	A	부다짐	RUBBER FORM+각목
II-1,2	D	부다짐	고부패드
II-3,4	A	부다짐	고부패드
II-5	A	Vibrating	고부패드
II-6	C	부다짐	고부패드
II-7	B	부다짐	고부패드
II-8	B	부다짐	고부패드
III-1,2,5	A	부다짐	고부패드
III-3,4,6	D	부다짐	고부패드

1차 충전확인실험은 실물크기로 제작된 수직접합부 시험체(3장의 그림 2)에 대해 기초배합실험에서 결정된 배합중 A배합 모르터를 다짐방법을 달리하여 충전한 후 시험체를 절단하는 방법으로 실시하였으며 2차실험은 1차실험결과에서 균열발생의 원인이 되었다고 판단된 거푸집조건을 바꾸어 1차실험에서 결정된 A, B, C, D배합에 대하여 실시하였다. 3차 실험은 1, 2차 실험결과를 토대로 당사 현장에서 A, D배합에 대하여 공개적으로 확인 실험을 실시하였다. 실험조건은 표 3과 같다.

모르터의 압축강도를 측정하기 위한 공시체는 현장성을 고려하여  $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 의 원형공시체를 사용하였으며 모르터의 유동성능은 육안과 플로우시험으로 확인하였다. 수직접합부의 충전상태는 모르터를 타설하고 5일 이상이 경과한 후에 시험체의 중앙부를 콘크리트 컷터로 절단함으로써 확인하였다.

### 2.4.2 실험 결과 및 고찰

전체적으로 실험결과를 살펴보면, 수직접합부에 요구되는 성능에 대하여 두배합의 모르터(A, D)와 고무패드 거푸집을 사용한 경우에 압축강도는 기준강도를 훨씬 상회하고 있으며 충전성도 만족할 만한 결과를 얻었다. 그러나 수직접합부 상부부분의 loop bar 및 shear key부분에 균열이 발생하였다. 이러한 균열을 완전히 방지하기 위해서는 경제성을 고려한 충전재료개발에 대해 계속적인 연구가 필요하다고 사료되었다. 또한 충전성과 적정강도를 확보할 수 있는 보다 경제적인 모르터 배합을 얻기 위해서는 적극적인 팽창제를 사용한 최적배합비의 결정에 관한 연구도 계속적으로 수행되어야 하며 본 연구를 통해 얻은 자료를 토대로 현장에서의 배합오차를 최소화하기 위해서는 공장에서 모르터를 ready mixing하여 현장에서 적용시킬 수 있는 연구도 계속적으로 이루어져야 할 필요성을 느꼈다. 이런 점을 고려하여 2차적으로 팽창제를 사용한 수직접합부 충전용 모르터에 관한 연구를 계속적으로 실시하였다.

## 2.5 팽창제를 사용한 수직접합부 충전용 모르터의 개발에 관한 연구

### 2.5.1 실험 개요

연구 내용은 크게 기초배합실험과 현장적용실험으로 구분하여 실시하였다. 기초배합실험에서는 P.C. 수직접합부 충전용 모르터로서 팽창제를 혼화제로 사용한 모르터의 재료적 성능과 수직접합부 요구성능의 적합성을 검토해 보기 위하여 불시멘트비(50%, 55%), C:S(1:2, 1:2.5), 팽창제 첨가율(0%, 0.5%, 1%-시멘트량에 대한 비율)을 실험변수로 하여 조합한 총 12가지 배합에 대

하여 압축강도시험, 팽창성시험, FLOW시험 등을 실시하였다. 현장적용실험은 기초배합실험에서 결정된 모르터를 현장에 직접 적용하기 앞서 현장 상황에 적합한 모르터 배합을 결정하기 위해 당사 3개 P.C.현장을 대상으로 실시하였다.

### 2.5.2 기초배합실험

#### 1) 실험개요

모르터 배합비는 표 4와 같으며 배합량은 모래함수량 보정전의 실제 배합량을 kg단위로 나타내었다. 표에서 1번, 4번배합은 배합비를 결정하는 과정에서 W/C를 50%로 계획하고 배합실험을 실시했으나 물의 부족으로 배합이 불가능하여 배합가능한 물시멘트비까지 배합을 조정하였다. 팽창제로서는 시멘트 중량의 약 0.5% 사용시 1~5%

표 4 모르터 배합비

NO.	배 합 량(kg)					
	C	S	W	AD.	C : S	W / C
1	12	24	6.5	0	1:2	54%
2	12	24	6	0.06	1:2	50%
3	12	24	6	0.12	1:2	50%
4	11	27.5	5.74	0	1:2.5	52%
5	11	27.5	5.5	0.055	1:2.5	50%
6	11	27.5	5.5	0.11	1:2.5	50%
7	15	30	8.25	0	1:2	55%
8	15	30	8.25	0.075	1:2	55%
9	15	30	8.25	0.15	1:2	55%
10	14	35	7.7	0	1:2.5	55%
11	14	35	7.7	0.07	1:2.5	55%
12	14	35	7.7	0.14	1:2.5	55%

의 팽창률을 보이며 팽창압력은 0.04kg/cm<sup>2</sup>을 나타내는 시멘트질 그라우트용 및 콘크리트용 분말혼화제인 H사 제품을 사용하였다.

#### 2) 실험에 대한 결과 및 고찰

각 시험에 대한 결과는 표 5와 같다. 굳지 않은 모르터의 flow값 경시변화를 살펴보면 전체적으로 팽창제를 첨가한 배합이 큰 flow값을 보여주고 있으며 물시멘트비가 50%인 배합보다 55%인 배합이 큰 flow값을 나타내고 있다. 또한 모래비율이 클수록 모르터의 유동성능이 떨어지는 결과를 보여주었다. 각 배합에 대한 팽창성 시험결과를 살펴보면 0.5%의 팽창제를 첨가한 배합인 경우 중국적으로 1.1~2.5%의 팽창을 보이고 있으며 1%의 팽창제를 첨가한 배합인 경우는 5~6.0%의 팽창을 보여주고 있어 팽창제 첨가량에 따라 비례적으로 팽창성능이 향상됐다. 그리고 0.5%의 팽창제를 첨가한 배합은 3시간이 경과한 시점에서 전체 팽창량에 대하여 90%이상의 팽창을 보였으며, 1%의 팽창제를 첨가한 배합인 경우 4시간이 경과한 시점에서 같은 경향을 보였다. 각 배합에 대하여 제작된 공시체의 압축강도시험결과를 살펴보면 팽창제의 첨가 및 양에 따라 강도가 약간씩 떨어졌으며 재령 28일을 기준으로 할 때 각 첨가량(0, 0.5, 1%)에 따라 크게 32kg/cm<sup>2</sup>~51kg/cm<sup>2</sup>정도의 차이를 보였다.

표 5 실험결과

NO.	온도(℃)		FLOW값 경시변화(cm)					팽창량(%)					압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
	Air	Water	Mortar	0분	30분	60분	90분	1시간	2시간	3시간	4시간	8시간	3일	7일	28일
1	21.4	16	22.5	OVER	21.6	21.6	21.0	0	0	0	0	0	158	208	280
2			21.9	OVER	22.7	19.3	21.7	0.6	1.0	1.0	1.1	1.1	155	195	262
3			20.4	OVER	20.5	22.0	19.1	2.1	3.4	4.4	4.7	5.0	133	193	261
4			20.0	21.2	17.4	17.7	18.0	0	0	0	0	0	154	207	291
5			19.6	21.2	19.5	20.4	20.6	1.4	2.0	2.4	2.4	2.4	145	203	259
6			19.3	20.9	21.4	19.8	19.0	2.9	4.0	4.7	5.1	5.1	123	169	231
7	21.5	17.9	22.2	OVER	23.8	23.7	23.0	0	0	0	0	0	182	239	298
8			22.5	OVER	25.0	22.8	23.2	1.5	2.4	2.4	2.5	2.5	185	238	304
9			22.4	OVER	OVER	OVER	OVER	1.6	3.6	5.4	5.5	6.0	172	243	311
10			22.5	21.0	21.5	19.0	19.6	0	0	0	0	0	184	241	286
11			22.0	OVER	22.1	23.0	20.7	1.3	1.3	1.9	1.9	1.9	174	236	328
12			21.8	OVER	24.0	22.2	22.0	1.6	3.4	4.4	5.0	5.1	140	196	277

### 2.5.3 현장적용실험

#### 1) 실험개요

각 현장에서 사용된 모르터 배합비는 표 6과 같으며 시험항목은 표 7에 나타내었다. 기초배합실험에서 결정된 배합비에 근거하여 레미콘 공장에 모르터를 주문하고 현장에서 팽창제를 첨가시켜 필요한 시험을 실시하였다.

표 6 모르터 배합비 (/ m<sup>3</sup>)

배합명	W/C(%)	C : S	C(kg)	S(kg)	W(kg)	AD.(kg)
A1	50	1:2.5	560	1400	280	2.8
B1	45	1:2.0	649	1298	292	3.25
B2	48	1:2.5	566	1415	272	2.83
C1	45	1:2.2	617	1357	278	3.09
C2	45	1:2.0	649	1298	292	3.25

표 7 시험항목

시험 항목	압축강도 시험			FLOW 시험	팽창성 시험	공기량 측정	온도측정	
	3일	7일	28일				Air	Mortar
A현장	0	0	0	0	0	-	0	0
B현장	0	0	0	0	0	0	0	0
C현장	0	0	0	0	0	-	0	0

#### 2) 실험결과 및 고찰

레미콘공장에서 현장까지 모르터 운반시간은 약 30분이 소요되었으며 flow test, 온도, 팽창성 시험결과를 표 8과 같다. 압축강도 시험결과를 표 9와 같다.

(1) A현장에서는 기초배합실험의 NO.5배합을 사용하여 공장에서 주문생산방식으로 실험한 결과 높은 flow값과 낮은 압축강도를 보였다. 기초

표 8 FLOW 시험, 온도, 팽창성 시험결과

시험내용		A1	B1	B2	C1	C2
온도 (°C)	외기온	14	5	5	10	12
	모르터 온도	20	13	13	16	16
FLOW 값 (mm)	0회	20	20	18	12.5	15.8
	5회	OVER	-	-	18	OVER
팽창 길이 (mm)	0시간	0	0	0	0	0
	1시간	12	20	10	12	20
	2시간	17	27	15	22	27
	3시간	22	29	20	22	27
	24시간	22	29	20	22	27
팽창성 (%)		2.4	3.2	2.2	2.4	3.0
공기량 (%)		-	3.2	3.2	-	-

표 9 압축강도 시험결과(kg/ cm<sup>2</sup>)

배합종류	실린더종류	양생조건	재령		
			3일	7일	28일
A1	∅ 5×10cm	표준수중양생	141	169	260
	∅10×20cm	표준수중양생	145	187	-
B1	□ 5× 5cm	표준수중양생	131	259	317
	∅10×20cm	표준수중양생	95	204	286
B2	□ 5× 5cm	표준수중양생	99	231	298
	∅10×20cm	표준수중양생	88	188	265
C1	∅10×20cm	표준수중양생	86	218	225
	∅10×20cm	현장기건양생	-	178	-
C2	∅10×20cm	표준수중양생	-	179	260
	∅10×20cm	현장기건양생	-	224	-

실험과 비교하여 बैच 플랜트의 강제식믹서 사용에 의한 효과와 배합량 증가로 인한 수량증가효과가 flow값과 강도에 나쁜 영향을 끼친 것으로 사료된다.

(2) B현장에서는 A현장의 실험결과를 토대로 B1배합과 B2배합으로 실험을 실시한 결과 두배합 모두 A현장실험에 사용된 A1배합보다 우수한 성능을 보였다. 두배합중 B1배합이 더욱 우수한 성능을 갖춘 배합이라 사료된다.

(3) C현장에서는 B현장의 실험에 사용된 배합을 가지고 C : S(1 : 2, 1 : 2.2)만을 조정하여 실험을 실시하였는데 B현장실험에서 사용된 C2배합이 FLOW값, 팽창성, 압축강도면에서 우수한 성능을 보였다.

### 2.5.4 결 론

본 연구는 P.C.수직접합부의 요구성능에 가장 적합한 충전용 재료를 찾기 위한 연구로써, 팽창제를 사용한 모르터에 대한 기초배합실험을 실시하고, 기초배합 실험결과를 근거로 하여 현장적용 실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 기초배합 실험결과에 근거한 적정배합으로 물시멘트비는 강도 및 제반성능을 고려하여 50%인 배합으로 정하였으며 팽창제의 첨가량은 과팽창의 우려를 고려하여 0.5%의 배합으로, C : S에 의한 영향은 확실하지 않다고 판단되어 1 : 2, 1 : 2.5 모두 가능한 배합으로 결정하였다.

(2) 기초배합실험에서 결정된 배합(NO.2,

5)은 매우 양호한 성능을 가진 배합이었으나 현장 실험에서 검토해 본 결과 수량 및 C : S의 조정이 필요하여 P.C.수직접합부 충전용 모르타로서 표 10과 같이 팽창제를 첨가한 모르타배합으로 결정하였으며 공장주문하여 사용하면 P.C.수직접합부의 요구성능에 적합하고 경제적인 충전재료를 얻을 수 있다고 사료된다.

표 10 적정 배합비

적정 배합비	물시멘트비	공장주문시 45~48%가 적당
	시멘트:모래	약 1:2
	팽창제	시멘트량의 0.5%
강도확보	재령 28일 240kg/cm <sup>2</sup> 이상 확보가능	
팽창성능	2~3%확보가능	
시공성	20cm이상의 FLOW값 확보가능	

### 3. 비파괴 시험을 통한 P.C.수직접합부에 대한 충전성확인에 관한 연구

#### 3.1 시험방법

본 연구에서 사용된 시험체는 폐쇄형 수직접합부의 모르타 충전성을 확인할 목적으로 사용되었으며, 3차에 걸친 충전용 모르타 개발을 위해 사용된 표 3의 18개 시험체중에서 11개(I-1, 2, 3, 4, II-1, 2, 3, 6, 8, III-2, 4)의 실물시험체에 대하여 비파괴시험을 실시하였다. 사용된 초음파 속도측정기(PUNDIT, V-METER)는 디지털식 음속장치로 주파수는 54KHz이고, Transducer 직경이 50mm이며 원리는 콘크리트의 측정면에 간격이 없도록 그리이스를 발라 발진자를 밀착시켜 전기적 충격을 가하면, 초음파는 콘크리트 내부로 전달되어 상대면에 같은 요령으로 밀착시킨 수신자에 의하여 다시 전기진동으로 교환되도록 한 것이다. 측정방법은 그림 2와 같이 H=2.415mm, I자형 접합부를 50mm간격마다 직접전달방식(투과법)으로 측정하였으며, 초음파 속도가 충분히 안정화된 후 그 값을 취하여 시간으로 도면상 벽두께를 나누어 종파속도를 구하였다. 초음파 경로거리는 도면상 벽두께로 하였는데 실제 값과 약간의 차이가 있는 것으로 나타났다. 그같은 차이가 발생된 곳은 보정을 하여 종파속도를 구하였다.

#### 3.2 시험결과 및 분석

수직접합부의 충전성을 확인하기 위하여 실물 시험체 11개에 대하여 비파괴시험을 실시한 결과는 그림 3과 같다.

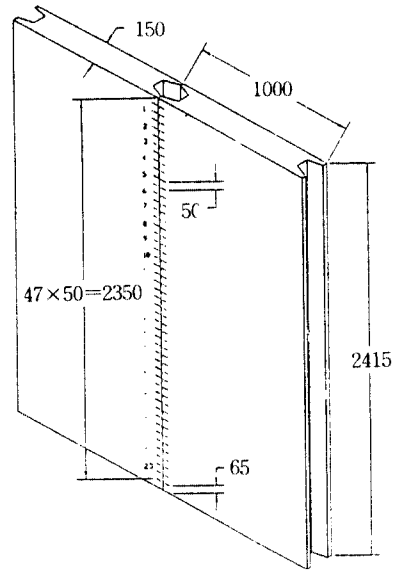


그림 2. 비파괴시험 측정위치

모르타 내부에 균열이 많이 발생한 I-1, I-2, I-3, I-4 시험체는 균열이 거의 발생되지 않고 충전성이 양호한 III-4 시험체에 비해 종파속도의 평균은 약 3.1~5%정도 낮게 나타났고, 종파속도의 표준편차가 약 31.5~54.7%정도 크게 나타났다. 이는 거푸집조건이 불량한 상태에서 다짐의 유무에 따른 시멘트 페이스트의 유출현상으로 발생한 균열의 정도에 따른 차이 때문으로 사료된다. 그러나 균열이 거의 발생되지 않은 II-1, II-3, III-2 시험체의 종파속도 표준편차가 III-4 시험체에 비해 약 6.5~17.9%정도로 크게 나타났으나, 균열이 거의 발생되지 않은 II-2, II-6 시험체에서는 약 52.8~79.4%정도 크게 나타났다. 이러한 현상은 모르타 내부에 발생한 균열의 정도차이가 아니라, 모재콘크리트와 접합부 모르타 사이에 발생된 수직균열때문으로 사료된다.

소정의 압축강도이하이고 균열이 거의 발생되



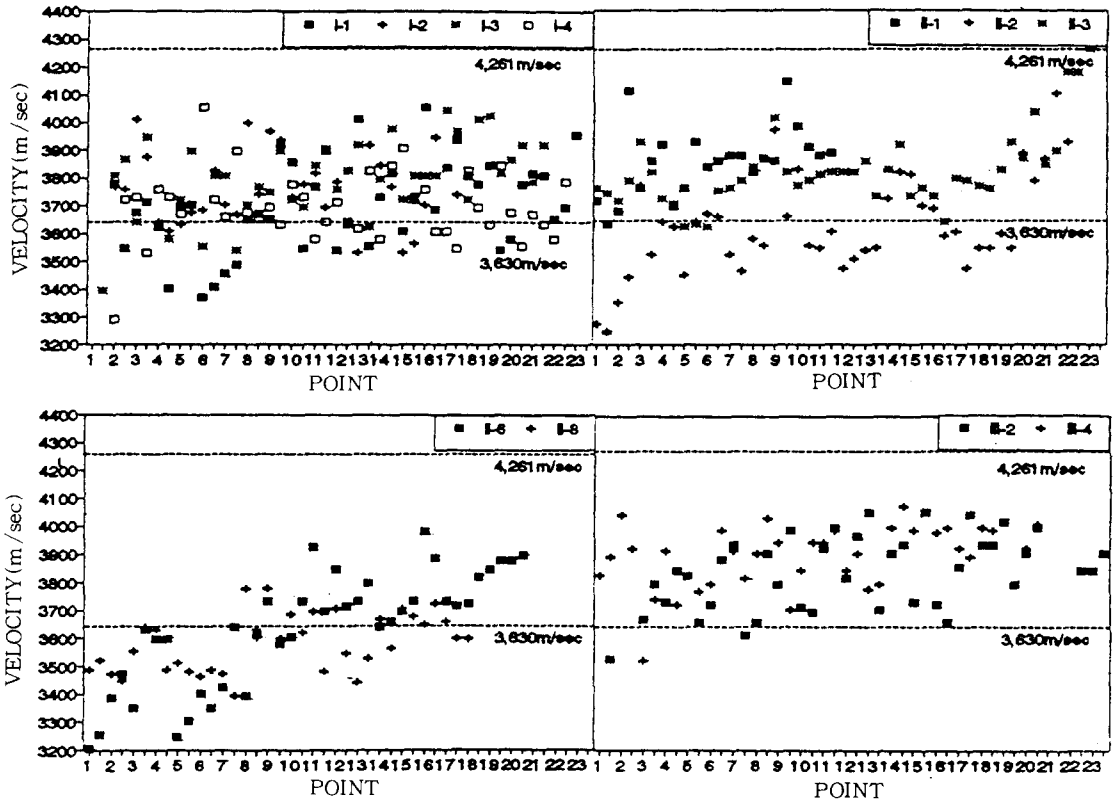


그림 3. 비파괴시험 결과

지 않은 II-8 시험체의 종파속도 표준편차는, 소정의 압축강도이상이고 균열이 거의 발생되지 않은 III-4 시험체에 비해 89%(101.04m/sec)로 적게 나타났다. 그러나 II-8 시험체의 종파속도 평균이 III-4 시험체에 비해 92%(3,581m/sec)로 낮게 나타나 접합부 품질에 있어서 만족스러운 상태가 아닌 것으로 사료된다. 이러한 현상에서 알 수 있듯이 소정의 압축강도가 확보된 상태에서 소정의 종파속도평균과 표준편차가 동시에 만족되어야만 접합부 품질이 양호할 것으로 사료된다. 이상과 같은 결과를 종합해 볼 때, 모르타가 양호하게 충전된 상태이고 재령 7일의 모르타 압축강도가 소정의 압축강도이상인 경우에, 폐쇄형 수직접합부의 모르타 충전성 확인을 위한 품질관리 기준치는 종파속도 하한치가 3,630m/sec이상인 동시에 표준편차는 134.68m/sec이하가 되어야 할 것으로 판단된다.

### 3.3 정규분포곡선을 이용한 접합부 충전성 확인

#### 3.3.1 압축강도와 종파속도 · 표준편차 관계

일반적으로 초음파의 종파속도와 압축강도와의 관계는 ACI Journal에서 밝힌 Sturup와 Vecchior의 논문에 의하면 비례관계가 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 폐쇄형 접합부의 충전성 확인은 실험이나 기존의 문헌을 통해서 구한 초음파의 종파속도-압축강도 관계식을 이용하여 설계기준강도와 배합강도에 대한 종파속도 및 표준편차를 구함으로써 가능할 것으로 판단된다. 일반적으로 설계기준강도가 설정되면 이에 근거하여 배합강도가 결정되게 한다. 문헌에 따르면 설계기준강도와 배합강도는  $f_{cr} = f_c + as$  ( $f_{cr}$  = 배합강도,  $f_c$  = 설계기준강도,  $a$  = 정규분포곡선상에서 정해지는 정수,  $s$  = 표준편차)와 같은 관계를 갖는다. 따라서 설계기준강도가 240kg/cm<sup>2</sup>일 경우 배

합강도는 앞의 식으로부터  $326\text{kg}/\text{cm}^2$ (강도 모자람을 5%로 한 경우  $a=1.64$ ,  $s=52\text{kg}/\text{cm}^2$ )가 된다. 한편 주택공사의 모르터 강도추천식인  $S_m=450.4V_m-1449.2$ ( $S_m$ : 모르터 압축강도( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ),  $V_m$ : 초음파의 종파속도( $\text{km}/\text{sec}$ ))를 이용하여 기준종파속도 및 표준편차를 구해보면 다음과 같다. 즉, 설계기준강도가  $240\text{kg}/\text{cm}^2$ 일 경우에는  $240=450.4V_m-1449.2$ 에서 설계기준강도에 대한 기준종파속도는  $3,750\text{m}/\text{sec}$ 이고, 배합강도가  $326\text{kg}/\text{cm}^2$ 인 경우에는  $S_m=450.4V_m-1449.2$ 에서 배합강도에 대한 중간종파속도는  $3,942\text{m}/\text{sec}$ 가 된다. 따라서 종파속도와 압축강도가 비례관계에 있다는 성질을 이용할 경우에, (배합강도에 대한 종파속도=설계기준강도에 대한 종파속도 + 1.64s)의 식이 성립되므로  $3,942=3,750+1.64s$ 에서 표준편차는  $122\text{m}/\text{sec}$ 가 된다.

### 3.3.2 정규분포곡선을 이용한 접합부 충전성 확인

비파괴시험전에 충전용모르터에 대한 압축강도를 측정하고 이를 이용하여 위에서 언급한 방법에 의해 기준종파속도 및 표준편차를 구한다. 이어서 기준종파속도와 표준편차에 대한 정규분포곡선상에 비파괴 시험결과를 그림 4와 같이 plotting한 후 그 분포도를 검토함으로써 폐쇄형 수직접합부의 충전성을 간접적으로 확인할 수 있다. 그러나 압축강도가 실질적으로 많은 편차를 가지고 있는 관계로 이 부분에 대해서는 계속적인 보완연구가 필요하리라 판단된다.

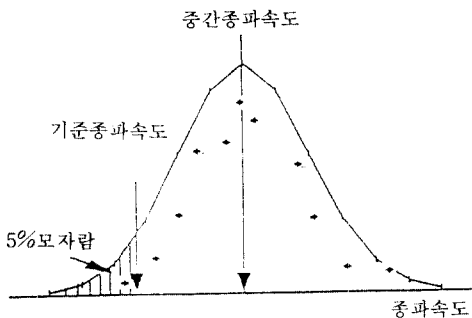


그림 4. 비파괴시험 결과 Plotting

## 3.4 결 론

본 연구는 P.C. 폐쇄형수직접합부 모르터 충전성 확인을 위한 목적으로 실물시험체에 대한 비파괴시험을 실시한 것으로 시험체의 개수는 총 11개로써 시험체별로 얻은 비파괴 시험결과를 통하여 분석, 고찰한 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 거푸집 조건을 양호하게 한 상태에서 무다짐으로 충전용 모르터를 타설할 경우에, 다짐을 할 경우보다 수직접합부의 종파속도값이 크고 표준편차가 적게 나타났으며, 다짐을 하면 할수록 예상과는 달리 표준편차가 크게 나타났다. 이와 같은 원인은 다짐에 의한 밀실의 효과보다는 거푸집 불량에 의한 시멘트 페이스트의 유출이 촉진되므로써 발생된 균열 때문으로 사료된다.

(2) 폐쇄형 수직접합부에 대한 모르터 충전성을 초음파법으로 확인할 경우, 종파속도에 크게 영향을 미치는 요인은 모르터의 압축강도, 거푸집 조건, 다짐 유무, 모래 콘크리트의 면과 접합부 모르터사이의 수직균열(바리)등으로 판단된다.

(3) 모르터가 양호하게 충전된 상태이고 재령 7일의 모르터 압축강도가 소정의 압축강도이상인 경우에, 폐쇄형 수직접합부 모르터의 양호한 충전성 확인을 위한 품질관리 기준치는 종파속도 하한치가  $3,630\text{m}/\text{sec}$ 이상인 동시에 표준편차는  $134.68\text{m}/\text{sec}$ 이하가 되어야 할 것으로 판단된다.

(4) 압축강도와 종파속도와의 비례관계를 이용할 경우, 압축강도를 이용하여 종파속도와 표준편차에 대한 정규분포곡선을 얻을 수 있으며, 이 곡선 상에 비파괴 시험결과를 plotting하여 그 분포도를 검토함으로써 간접적으로 접합부의 충전성 확인이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 이 부분에 대해서는 앞으로 계속적으로 보완연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

## 4. P.C. 수직결속근 연결장치의 개선에 관한 연구

### 4.1 연구개요

본 연구는 시공성과 경제성에서 문제점으로 나

타난 주름관의 사용을 배제하고 당사의 수직결속근 연결장치인 coupler를 대신하는 새로운 시스템을 개발하는 데에 목적을 두고, 수직연결철근을 D25로 한정하여 중심축 하중을 받는 경우와 시공시 발생할 수 있는 최대오차라 판단되는 2cm의 편심을 받는 2가지 경우로 연구의 범위를 한정시켰다. 연구방법으로는 먼저 시공현장에서 발생하는 수직결속근의 문제점을 최대한 파악하기 위하여 P.C.설계 관련자 및 P.C.공장의 생산자, 현장기사, 노무자를 상대로 설문문을 조사하고, 실질적인 문제점을 파악한 후, 작성된 설문과 이론적인 고찰을 통해서 나타난 개선사항을 토대로 몇 가지 형태의 개선안을 마련하고 이들에 대해서 구조성능 실험을 실시하였다. 연구추진과정은 그림 5와 같다.

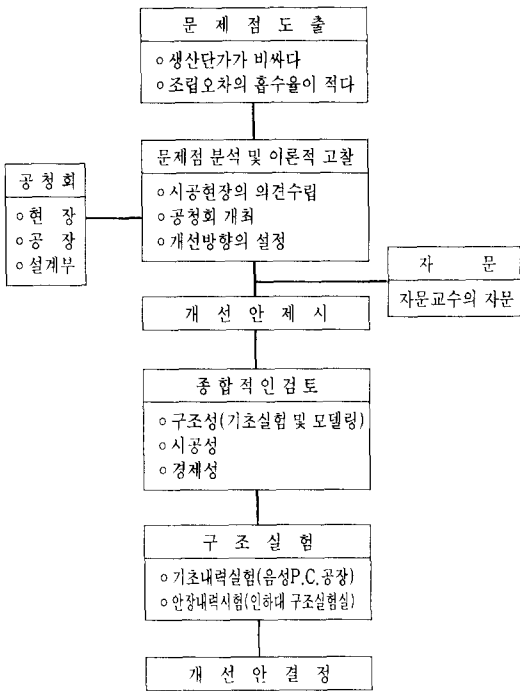


그림 5 연구추진과정

## 4.2 실 험

### 4.2.1 수직결속근 연결장치의 설계

모든 개선안은 주름관을 사용하지 않는다는 전제하에 상하벽체의 수직연결철근을 부재내에 매

립 제작하는 것으로 하였고, 수직연결철근이 벽체내에 고정되어 있으므로 연결근 체결 시에 발생하는 오차는 연결장치내에서 흡수할 수 있도록 하였다.

1) 반원봉강형 : 벽체에 매입된  $\phi 19$ U자형혹크철근의 만곡부분에 연결철물을 삽입하고 고력볼트로 긴결조립하는 방법이다. 연결철물의 가운데 부분에 5mm의 단차를 두어 혹크철근이 인장을 받을 경우 연결철물에 보다 밀접하게 긴결되고, 편심에 의해서 혹크철근이 이탈되는 것을 방지하도록 하였다(그림 6).

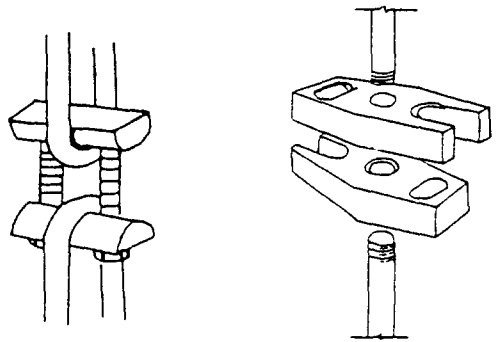


그림 6 반원봉강형 연결철물

그림 7 육각판형 연결철물

2) 육각판형 : 벽체에 매입되어있는 철근의 양쪽끝단을 연결철물에 삽입하여 연결볼트로 결속하는 방법이다. 연결철물은 한쪽면이 개방되어 볼트의 체결이 쉽고 상하 역대칭으로 조립되며, 직경 40mm, 깊이 3mm의 와셔자리를 두어 볼트가 탈방지 및 조립시에 수평도를 기하도록 하였다. 볼트구멍에서 개방형은 연결철물과 평행한 방향으로, 폐쇄형은 수직방향으로 2cm의 범위로 홀의 여유를 두어 좌우의 오차를 흡수할 수 있도록 하였고, 상하의 오차는 중앙부분의 너트 또는 연결볼트로 조절하도록 하였다(그림 7).

3) 반원통형 : 공장생산시 나사선을 가진 수직철근을 미리 벽체내에 매입시키고 현장에서 너트를 사용하여 연결철물에 수직철근을 끼워 긴결시키는 방법으로 한 개의 연결철물만으로 연결장치의 역할을 하는 비교적 간단한 방법이다(그림 8).

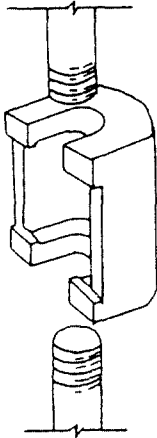


그림 8 반원통형 연결철물

#### 4.2.2 연결철물의 구조성능 평가

수직결속근은 횡하중에 대해 저항할 수 있어야 하고 그 내력도 소성 및 극한상태에서 휨모멘트와 전단력에 저항할 수 있도록 설계되어야 한다. 각 개선안의 구조성능평가에 사용된 소성단면계수는 탄성단면계수의 1.5배로 하였으며 연결철물의  $f_y$ 는 재료시험값인  $2.48t/cm^2$ 로 하였다. 각 시험체별 예상 최대내력은 표 11과 같다.

표 11 각 개선안별 예상 최대내력 (단위 : ton)

	소성모멘트	소성전단력	예상최대내력
반원봉강형	21.2	45.8	21.2
육각판형	22.7	37.0	22.7
반원통형	21.7	-	21.7

### 4.3 실험결과 및 분석

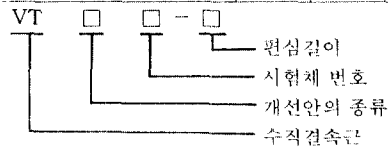
#### 4.3.1 실험결과

구조내력 평가는 중심축과 편심을 변수로 3가지 개선안에 대하여 각각 6개씩 총 18개를 행하였으며 실험결과표는 표 12와 같다.

이 경우 실험에 사용된 하중측정장치인 로드셀의 용량이 30ton이었던 관계로 시험체의 실질적인 종국내력은 평가되지 못하였으며, 실험결과표의 분석 및 고찰에 사용된 종국하중은 실험종료시의 하중으로 하였다. 실험결과에서 초기항복하중은  $P_y$ , 종국하중은  $P_u$ , 초기항복때의 처짐은  $\delta_y$ , 종국시의

표 12 실험결과

시험체명			$P_y$ (ton)	$P_u$ (ton)	$\delta_y$ (mm)	$\delta_u$ (mm)
VTA1-0	반원봉강형	∅19 혹 크 칠 근	24.2	24.2	23.5	23.5
VTA2-0			24.1	24.1	19.5	19.5
VTA3-0			25.6	25.8	19.3	19.3
VTA1-2			24.0	24.0	25.2	25.2
VTA2-2			28.2	28.2	21.5	21.5
VTA3-2			28.3	28.3	20.5	20.5
VTB1-0	육각판형	∅25 강 봉	18.2	24.4	2.5	10.2
VTB2-0			21.6	25.1	4.2	9.8
VTB3-0			21.3	25.3	3.7	9.2
VTB1-2			19.8	19.8	7.0	7.0
VTB2-2			23.5	28.2	6.0	11.3
VTB3-2			22.5	27.9	4.2	8.9
VTC1-0	반원통형	∅25 강 봉	17.5	22.1	3.2	9.2
VTC2-0			19.5	25.0	2.9	17.0
VTC3-0			21.0	25.0	2.3	15.5
VTC1-2			16.5	21.2	5.1	10.3
VTC2-2			19.0	24.9	2.5	7.9
VTC3-2			23.6	23.6	4.9	5.0
커플러			23.4	28.7	-	-



처짐은  $\delta_u$ 로 나타내었다. D25를 기준으로 한 커플러와 개선안의 실험결과표는 표 13과 같다.

#### 4.3.2 커플러 시스템과의 구조성능 비교

중심축하중을 받는 경우의 최고내력을 커플러와 각 개선안들의 비( $P_u/cP_u$ )로 비교하여 보면 표 13에서와 같이 반원봉강형은 92%, 육각판형은 93%, 반원통형은 92%로 다소 작은 값으로 나타났으나, 이는 실험상의 제약으로 실질적인 최고하중에 대한 정확한 평가를 얻지 못하였기 때문이다. 그러나 소성상태를 고려하여 계산된 개선안들의 극한내력( $P_u$ )보다 실험에서 나타난 최고하중값( $P_u$ )이 약간 상회하고 있으므로 제안된 개선안은 충분히 이해할 수 있는 범위의 인장내력을 가지고 있다고 볼 수 있다. 또한 커플러의 항복내력에 대한 각 개선안들의 항복내력의 비( $P_y/cP_y$ )가 0.84~1.17로 개선안의 실질적인 사용에는 문제가 되지 않는다고 판단되었다.

표 13 커플러 시스템과 개선안의 구조내력 비교

(단위 : ton)

구분	구분	$P_y$	$P_u$	$tP_u$	$P_y/cP_y$	$P_u/cP_u$	$P_u/tP_u$
시험체	중심축	24.2	24.2	21.2	1.03	0.92	1.14
	편심	28.3	28.3	-	1.17	1.04	-
육각판형	중심축	21.5	25.2	22.7	0.89	0.93	1.17
	편심	23.0	28.1	-	0.95	1.03	-
반원통형	중심축	20.3	25.0	21.7	0.84	0.92	1.15
	편심	21.3	24.3	-	0.88	0.89	-
커플러	중심축	24.2	27.2	-	1.00	1.00	-

주 1)  $tP_u$  : 해석에 의한 개선안들의 종국내력값  
 $cP_y$  : 실험에 의한 커플러의 항복하중값  
 $cP_u$  : 실험에 의한 커플러의 최고하중값

### 5. 경제성 분석

#### 5.1 P.C. 수직접합부 충전용 모르터에 관한 연구

기존 현장에 사용되고 있는 P.C. 수직접합부 충전용 모르터의 배합과 본 연구에서 얻어진 팽창제를 사용한 배합과의 경제성을 비교하면 표 14와 같다.

성과를 분석해보면 1m<sup>3</sup> 당 NO.1의 배합과 비교하여 58%를 절감할 수 있으며 NO.2의 배합과 비교해 보면 38%의 비용절감을 가져 올 수 있다.

#### 5.2 P.C. 수직결속근 연결장치의 개선에 관한 연구

개선안을 현장에 적용할 경우 반원봉강형은 coupler방법과 비교하여 약 15%의 절감을, 육각판형과 반원통형은 약 22%의 절감효과를 얻을 수 있음을 확인하였고, 그 내용은 다음과 같다.

1) Coupler(현재 덴마크 LN공법에서 사용되는 연결장치 시스템)

COUPLER	2,000원
철근	6,700원
주름관	4,200원
모르터	780원
<hr/>	
	13,680원 /1개소

2) 반원봉강형

연결철물	3,000원(주물제작일 경우)
철근	7,600원
(수직철근 HD25, $\phi$ 19 HOOK(이음길이 60cm))	
고력볼트	1,000원
(고장력볼트 M20×150mm, 한국물가협회기준)	
<hr/>	
	11,600원 /1개소(약15%절감)
	(개선연구결과 절감내용)

3) 육각판형 & 반원통형

연결철물	3,000원
	(주물제작일 경우)
철근	6,700원
(coupler의 경우와 동일적용)	
고력볼트	1,000원
	(반원봉강형과 동일적용)
<hr/>	
	10,700원 /1개소
	(약 22% 절감) (개선연구결과 절감내용)

### 6. 맺음말

본 연구는 P.C.공사의 구조적 성능향상을 위한 개선연구로서 크게 3가지 주제를 다루었다. 본래의 의도와는 다르게 상당부분 보완연구가 필요하리라 느껴지며, 미흡하지만 본 연구과정에서 도출

표 14 경제성비교

NO.	구분	배합종류	C	S	W	W/C(%)	AD	합계(원 /m <sup>3</sup> )
1	수직접합부용 시판제품	A사 제품	1840		307	-	-	115,000
		가격(원)	115,000		-	-	-	
2	현재 국내에서 사용중인 모르터	무수축제 사용 모르터	640	1280	307	48	25.6	85,012
		가격(원)	37,600	6,452	-	-	40,960	
3	연구결과 개발된 모르터 (현재 사용중)	팽창제 사용 모르터	649	1298	292	45	3.25	52,796
		가격(원)	38,129	6,542	-	-	8,125	

주 1) C=58.75원/kg, S=5.04원/kg, 무수축제=1,600원/kg, A사 제품=2,500원/bag(40kg), 팽창제=2,500원/kg

된 결과들이 P.C. 관련 분야에서 참고자료로서 활용될 수 있기를 바란다.

## 참 고 문 헌

1. 대한건축학회, 공업화주택 기술향상을 위한 심포지움 발표집, 1993.5, pp.3-72
2. 대한주택공사, P.C접합부 설계방식 개발을 위한 실험연구, 1992.12.
3. (주)광주고속 기술연구소, 건축공사 표준시방서, 1988, pp.65-77
4. 건설부, 프리캐스트 콘크리트 조립식건축 공사표준시방서, pp.18-95
5. 대한주택공사, 프리캐스트 콘크리트 조립식건축 공사표준시방서, 1992.4, pp.32-92
6. 한국전산구조공학회, PC 구조시스템의 설계기법, 1993.2.
7. 삼성 대형판 PC 시스템의 구조성능 실험연구, 1993.1.
8. 주택정보, 재래식 P.C를 혼용한 부분조립식 공법 각광, 1992.11, pp.58-62
9. 콘크리트工學, 特集-プレキャスト化の現状と將來, Vol.30, No.11, 1992.11, pp.6-75
10. (주)금호건설기술연구소, P.C.수직접합부 모르타의 충전성확인에 관한 연구, 1994.2.
11. 건설부, 콘크리트 표준시방서, 1989.
12. 한국콘크리트학회, 최신콘크리트 공학, 1994.
13. 한국콘크리트학회, 시멘트 콘크리트의 품질시험 및 품질관리, 1994.2.
14. 송기범편저, 건설재료시험법, 도서출판 한일, 1992.2.
15. 池田正志外, 高品質PCグラウトにおける分割練りませ効果, セメント コンクリート論文集, NO. 46, 1992, pp.286-291
16. 橋詰 清, 膨脹劑に關する基礎的實驗(その1), 日本國土開發技術研究報告, NO.2, pp.79-97
17. JASS 10.1, 壁式プレキャスト鐵筋コンクリート工事(解説), pp.132-138
18. 岡田 清, 六車 熙, 콘크리트工學 HAND-BOOK, 朝倉書店, 1981.11, pp.310-321, pp. 219-224, pp.459-462
19. 日本建築學會, 膨脹材を使用するコンクリートの調合設計 施工指針案 同解説, 1982
20. Prestressed Concrete Institute, PCI Design handbook, 1978
21. American Concrete Institute, In Situ / Non-destructive Testing of Concrete, 1984.
22. V.M. Malhotra, Testing Hardened Concrete : Nondestructive Methods, 1976.
23. Leslie, J.R. and Cheesman, W.J. "An Ultrasonic Method of Studing deterioration and Cracking in Concrete Structures", ACI Journal(No 46-2), September 1949.
24. 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조물의 비파괴 조사 및 안전진단, 1993.
25. 일본콘크리트공학협회, 콘크리트 구조물의 비파괴 시험법 연구위원회 보고서, 1992.3.
26. 주택공사, 초음파법에 의한 PC 접합부 품질관리 방안에 관한 기초적 검토, 1993.7.
27. 김용부, "콘크리트 강도의 분석", 콘크리트 학회지 제 2권 2호, 1990.6.
28. 장기인, 건축시공학, 보성문화사, 1988.
29. PCI, Design and Typical Details of Connections for Precast and Prestressed Concrete, 1988.
30. PCA, Design and Construction of Large-Panel Concrete Structures.
31. 한국산업기술연구원, 국내외 프리캐스트 콘크리트 시스템 소개
32. 한국산업기술연구원, PC(조립식) 주택종합기술 세미나
33. 백용준외, P.C Large Panel을 이용한 초고층아파트의 STABILITY에 관한 연구, '93춘계학술발표논문집, 대한건축학회