

# 常壓蒸氣養生方式에 의한 PHC PILE의 제조기술 研究

## An Experimental Study on Manufactural Technics of PHC Pile Using Low Pressure Steam Curing Method

\* 김 종 흡      ○ \*\* 안 상 기      \*\*\* 이 동 근      \*\*\*\* 심 흥 섭  
Kim Jong Heub      Ahn Sang Key      · Lee Dong Geun      Sim Heung Sub

### Abstract

The High Strength Concrete Research Team of the Dong-Ah Construction R&D Institute has achieved the practical use of the PHC pile manufacture technique at the Dong-Ah Chang-dong PC Plant. Components of the high strength concrete are used high strength cement, admixtures(water reducing high range admixture, micro silion fume, fly ash, gypsum).

The design strength required 800kg/cm<sup>2</sup> was developed raging from 870kg/cm<sup>2</sup> to 1010kg/cm<sup>2</sup>, The new manufacture procedure of HPC pile which include placing, molding, steam curing is able to apply a current PC pile manufacture procedure easily without using the high pressure steam curing.

### 요 약

동아건설 연구소의 고강도콘크리트 연구팀은 창동 PC 공장에서 상압증기 양생방식에 의한 PHC Pile 제조기술을 개발하여 실용화 하였다. 고강도 콘크리트의 강도 발현기구로 고강도 시멘트와 혼화재료(고성능 감수제, 마이크로 실리카흙, 후라이애쉬, 무수석고)를 사용하였으며, 설계강도 800kg/cm<sup>2</sup>를 만족하는 압축강도 870 - 1010kg/cm<sup>2</sup>를 실현하였다. 파일생산 공정상 고강도 콘크리트의 투입, 성형, 양생은 기존 PC Pile 공정에서 PHC Pile을 생산할 수 있도록 개선하였다.

따라서 향후 일반 Pile 생산공장에서도 오토크레이브 양생장치에 의존하지 않고서도 PHC Pile의 생산이 가능하도록 한 실험 결과이다.

말뚝을 사용하므로 염분의 영향으로 인한 부식이 발생하게 되어 지지력의 감소방지 대책이 특별히 필요하며, 재료비도 콘크리트에 비하여 30 - 40%더 비싼것을 사용하고 있는 실정이다. 따라서 국내에서도 PHC Pile에 대한 관심이 고조 되면서 현재 4개업체에서 AUTOCLAVE방식으로 PHC Pile이 생산되고 있으며, 그 확산은 급속도로 증가할 전망으로 보인다. 그러나 이 방식은 엄청난 시설투자비와 유지관리비가 높은것이 단점인 것으로 이에 대한 개선책으로 현재 사용중에 있는 상압증기방식의 PC말뚝 생산시설을 그대로 이용하면서 고강도콘크리트의 재료를 개발 활용하여 PHC Pile을 생산할 수 있는 제조기술에 대한 연구실험을 하게 되었다.

### 1. 연구실험 개요

최근 국내건설공사의 규모가 대형화, 초고층화 추세에 따라 구조물의 기초공사용 말뚝의 설계하중이 크게 증가하고 있어 현재의 PC말뚝(500kg/cm<sup>2</sup>)으로서는 지지력을 충족할 수 없고 비경제적이며 비농율적인 말뚝시공을 하고 있다. 특히 해안지방에서는 지지기반이 매우 깊은 연약지반 조건에서의 시공으로 대부분 강관

### 2. PHC Pile의 제조방식

PHC Pile을 제조하는 방법은 고온고압(AUTOCLAVE)양생과 상압증기(LOW PRESSURE STEAM)양생이 있다. 최근 국내에서 PHC Pile을 생산하기 시작한 공장은 전자의 방식을 선택하였으며 몇몇 후발업체도 추진중인것으로 조사되었다. 후자의 방법은 기존 상압증기설비를 그대로 이용하는것으로 국내에서는 많은 관심과 연구개발에 노력을 기울이고 있다.

\* 정회원 : 동아건설산업(주) 기술연구소장  
\*\* " : 동아건설산업(주) 기술연구소 선임연구원  
\*\*\* " : " " 연구원  
\*\*\*\* " : " " 청주PC공장 과장

### 3. 고강도콘크리트의 연구실험

#### 1) 실험계획

본 연구의 콘크리트 배합설계실험은 KSF4306에 따라 설계기준강도 800kg/cm<sup>2</sup> 목표로 하여 고강도를 발현시키기 위하여 Abrams의 물시멘트비 이론에 따라 작업성이 있는 범위내에서의 최소 물시멘트비를 갖는 콘크리트를 만들며 Workability를 개선하기 위하여 혼화재료를 사용하였다. 따라서 골재의 최대치수, 형상, 입도, 마모, 이물질 등이 콘크리트의 강도와 작업성에 미치는 영향이 검토되었으며, 시멘트는 보통 포트랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement)와 고강도 시멘트(High strength Portland Cement)를 이용하여 고강도 콘크리트를 만들기 위한 실험계획을 하였다.

#### 2) 재료의 성질

본 실험에 사용된 재료는 시멘트, 조골재, 세골재이며, 혼화재료로서는 고성능감수제, 실리카흄, 후라이 애쉬 그리고 무수석고를 사용하였다. 이에대한 재료의 물리, 화학적 성질은 표1, 2, 3과 같다.

표 1. 시멘트의 물리, 화학적 성질 시험결과

구분	비중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	응결(분)		강도 (kg/cm <sup>2</sup> )			산화 마그네슘 (%)	삼산화 황 (%)	강열 감량 (%)
			초기	중결	3일	7일	28일			
OPC	3.14	3,200	260	6:50	205	289	375	3.3	2.2	1.0
HPC	3.15	3,200	220	6:10	300	415	535	3.0	5.5	1.2

표 2-1. 혼화제의 성질

품명	내용 조각	PH	비중	점도	색상	비고
Mighty 150	나프탈린계	9±1	1.2	180-250	암갈색	

표 4. 콘크리트 배합설계 시험표

시험 번호	골재 최대 치수 (mm)	슬럼프 (cm)	물시 멘트 W/C (%)	세골 재율 S/A (%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )				혼화재량 kg/m <sup>3</sup>				압축강도 δ28		
					물 W	시멘트		조골재 CA	세골재 FA	M/T	M/S	F/S	N/C	실린더 (10x20) kg/cm <sup>2</sup>	중공원통 공시체 kg/cm <sup>2</sup>
						OPC	HPC								
1	13	3.5	25	36	150	510	-	1,089	599	10.8	90	-	-	887	870
2	"	4.5	26	"	156	510	-	1,079	593	10.8	45	-	45	965	980
3	"	4.0	25	"	150	510	-	1,089	599	10.8	-	-	90	928	910
4	19	4.0	"	34	150	510	-	1,123	565	10.8	-	-	90	900	872
5	"	4.5	"	"	150	510	-	1,123	565	10.8	45	-	45	951	969
6	13	4.5	26	36	156	-	600	1,079	593	10.8	-	-	-	916	930
7	"	4.5	"	"	156	-	540	1,079	593	10.8	60	-	-	1,007	992
8	"	4.0	25	"	150	-	522	1,089	599	10.8	39	39	-	1,010	960
9	19	3.5	"	34	150	-	540	1,123	565	10.8	60	-	-	960	922
10	"	4.5	"	"	150	-	522	1,123	565	10.8	39	39	-	950	925

표 2-2. 혼화제의 성질

품명	색상	비중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)
Mic. Silica	밝은 회색	2.20	200,000	-	90-96	0.5-0.3	0.2-0.8	-
Fly Ash	흰색	2.18	4,050	-	58.2	29.5	0.3	0.3
무수석고	백색	2.95	7,000	39	4	1	1	54.0

표 3. 골재의 물리성질 시험결과

종류	산지	골재 크기	조립 율	비중	흡수 율	단위 중량	마모	비고
조골	충북	19~NO.4	6.60	2.66	0.74%	1,752	21%	
재	충원	13~NO.4	6.31	2.66	0.74%	1,748	20%	
세골	의정	NO.4~ #200	3.23	2.60	1.71%	1,553	-	

#### 3) 실험방법

본 실험은 파일공장에서 원심력을 이용하여 생산되는 제품의 특성을 고려하여 콘크리트의 강도는 설계기준강도 800kg/cm<sup>2</sup>, 슬럼프는 3±1cm의 Consistency를 갖는 콘크리트에 대한 단위시멘트량, 물시멘트비, 세골재율, 혼화재량을 결정하였으며, 콘크리트는 원심력으로 인하여 재료분리가 일어나지 않으며 상압증기양생 후 1일강도가 800kg/cm<sup>2</sup> 이상을 만족하는 콘크리트 배합설계 시험을 하여 본 연구실험의 제조 조건에 만족하는 고강도콘크리트의 결과를 표4와 같이 도출하였다.

(가) 원통형공시체의 제작시 원심력과 회전시간

KS F 2454에 의한 공시체의 원심력과 회전시간은 7.2항에 규정되어 있으나 본 연구시험의 콘크리트의 혼합재료 사용 특성상 재료분리를 최소화 하며, 모르타층이 발생하지 않도록 하기 위하여 제작시의 원통공시체의 회전속도, 회전시간 등의 상관관계를 위하여 표5와 같이 실험하였다.

표 5. 중공원통형 공시체의 원심력과 회전시간

저 속		중 속		고 속		1일 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )
원심력 G	시간 분	원심력 G	시간 분	원심력 G	시간 분	
2	6	8	4	30	4	875

(나) 상압증기양생 작업

원심력 다짐을 끝낸 공시체는 3 - 4시간 이상 전양생(Presetting)을 실시한 후 시험실용 증기양생조에 넣고, 증기를 콘크리트 주변에 보내 습윤상태로 가열하여 온도의 상승속도가 20℃/hr 정도로 최고온도 65 - 70℃까지 상승하여 등온양생상태로 6hr을 유지시킨 후 온도를 20℃/hr 정도로 서서히 내려서 외기온도와 거의 동일하였을 때 공시체를 거푸집에서 탈형하는 것으로 양생작업을 하였다.

4) 실험결과 및 고찰

고강도콘크리트 배합설계시험 결과에 대하여 물시멘트비, 단위시멘트량, 시멘트의 종류, 조골재 최대크기, 혼화재료 및 잔골재율이 콘크리트의 성질에 미치는 영향을 고찰하면 다음과 같다.

(가) 물시멘트비

그림1은 물시멘트비 26, 28, 30%에 따른 재령 1, 7, 28일에 대한 압축강도를 나타낸것으로 물시멘트비가 감소할수록 강도는 증가하였으며 고성능 감수제를 사용하여 물시멘트비를 감소시키면 강도증진이 되더라도 현장작업이 가능한 범위의 최저물시멘트비는 25%임을 확인하였으며, 그 이하에서는 콘크리트의 반죽질기가 너무 Stick하여 작업이 불가능하였고 점성이 높으며 Slump의 급격한 감소로 인한 시공성이 떨어지므로 더 검토되어야 하는 것으로 판단되었다.

그림1의 도표안에 있는 식은 물시멘트비에 따른 강도와의 관계를 나타내고 있다.

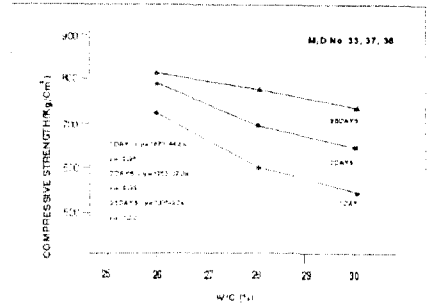


그림 1 Relationship between Compressive Strength and W/C

(나) 시멘트 및 혼합시멘트의 강도특성

그림2은 보통 포틀랜드시멘트(OPC), 고강도시멘트(HPC) 그리고 혼합시멘트에 대한 재령별 강도를 나타낸것으로 보통포틀랜드시멘트에 비하여 고강도시멘트나 혼합시멘트를 사용한 콘크리트의 강도가 300 - 350kg/cm<sup>2</sup> 정도 더 높은것으로 나타났다. 특히 시멘트에 Micro Silica Fume, Fly Ash 또는 무수석고 등을 혼합하여 사용할 경우 고강도를 얻는데 아주 용이함을 알 수 있다.

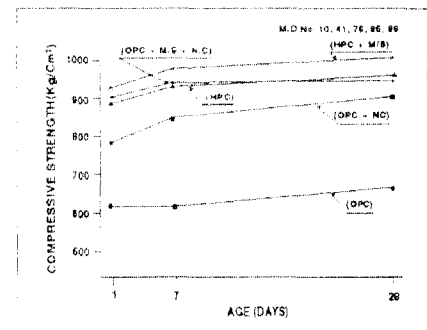


그림 2 Relationship between Compressive strength and Cement Type

(다) 조골재 최대크기의 영향

고강도 콘크리트의 배합은 낮은 물시멘트비를 적용함으로 인해 작업성(Workability)이 나빠지고 재료분리가 발생하기 쉬워 콘크리트의 고강도발현에 중대한 영향을 미치므로 조골재의 최대치수도 신중하게 결정되어야 한다. 특히 고강도 800kg/cm<sup>2</sup>의 강도를 얻기 위해서는 조골재의 최대치수가 중대한 영향을 미치므로 고려되어야 한다.

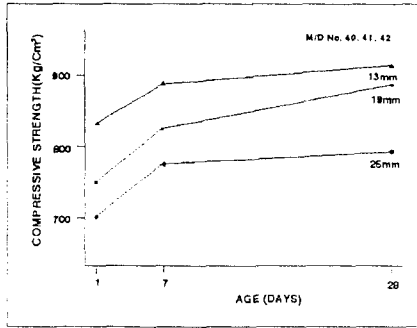


그림 3 Relationship between Compressive Strength and Coarse aggregate size

그림3은 조골재 최대크기 13,19,25mm에 대한 강도특성을 나타낸것으로 실험결과 조골재의 최대크기가 작을수록 콘크리트의 강도는 증가하고 있다. 이것은 골재치수가 작을수록 골재와 시멘트사이의 부착강도가 증가하고 밀실한 콘크리트의 생산이 가능하기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 조골재 생산이 콘크리트의 원가에 미치는 영향을 고려하여 작은 조골재 최대치수를 사용하여야 하는 것을 알 수 있다.

(라) 혼화재료

혼화재료를 사용한 콘크리트의 특성으로 그림4은 고성능감수제인 Mighty-150을 사용한 경우로서 물시멘트비를 최소화 하며 작업성을 고려한 배합설계시 혼화제량은 시멘트중량의 1.5, 1.8, 2.1, 2.4%로 강도에 미치는 영향은 1.5%보다 1.8%에서 강도가 더 증가하였으며 그 사용량이 증가할수록 강도는 약간씩 감소하는 것으로 나타났다.

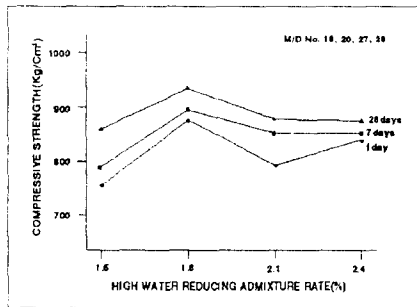


그림 4 Relationship between Compressive strength and high water Reducing Admixture Rate

그림5은 Micro Silica Fume을 5, 7.5, 10, 15%로 혼합하였을 경우 10%까지의 콘크리트 강도는 크게 증가하였으나 그 사용량이 더 증가하면 강도는 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다.

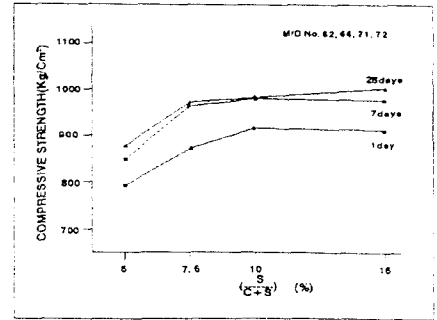


그림 5 Relationship between Compressive strength and Silica Fume rate

그림6은 Fly Ash를 10,16,22%로 혼합하였을 경우 사용량이 증가할수록 강도는 감소하였으며, 재령 1,7,28,56일에서는 양생일이 작으면 F/A 사용량이 증가할수록 강도는 크게 감소하며, 장기양생일의 경우는 점차 증진되는것으로 나타났다.

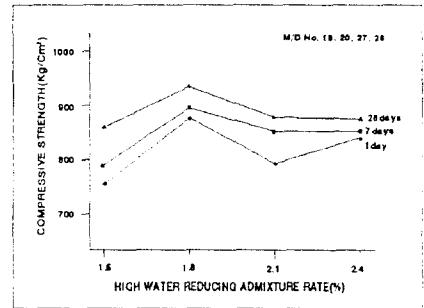


그림 6 Relationship between Compressive strength and high water Reducing Admixture Rate

(마) 잔골재율

그림7은 잔골재율을 34, 37, 40%로 증가시킬 경우 콘크리트의 강도는 약간씩 감소되는것으로 나타났으며 34% 이하의 잔골재율에서는 콘크리트의 성형성(Plasticity)과 피니셔빌리티(Finishability)가 나쁘기 때문에 실험대상이 될 수 없었다.

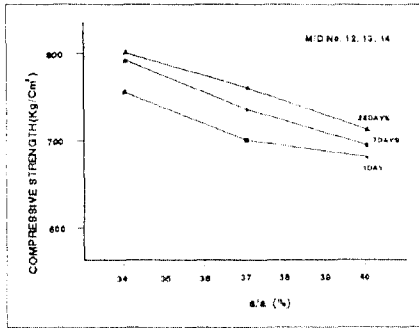


그림 7 Relationship between Compressive strength and S/A

#### 4. PHC Pile 생산실험

##### 1) 생산개요

PHC Pile의 제조공정은 기존 PC말뚝의 제조방식과 동일한 설비를 이용하여 생산하는 것으로 하였다.

##### 2) PHC Pile의 재료

###### (가) 콘크리트

PHC말뚝 생산용 콘크리트는 보통포트랜드 시멘트와 고강도 시멘트로 하여 조골재 최대치수는 19mm, 세골재율 34%, 물시멘트비 25%에 혼화재료를 사용한 콘크리트로 파일을 만들었으며 배합표는 표4의 No. 5, No. 10으로 하였다.

###### (나) PC강재

말뚝에 사용하는 PC강재는 인장되어 말뚝의 콘크리트에 압축력을 가하는 주요재료로서 콘크리트와의 부착력이 좋고 나사틀기와 헤딩하기가 쉬우며 릴렉세이션이 적은것이 요구된다. PC강재는 KS D 7002에 규정된 PC강선을 사용하였다.

##### 3) 제조방법

###### (가) 거푸집의 조립 및 긴장

PC강선은 코일로 입하되어 이를 직선기에 걸고 절단기로 소정의 길이만큼 절단하고 단부는 압조기로 헤딩가공을 한다. 이 PC강선에 자동철근편성기를 사용하여 스파이럴철근을 스폿트 용접하면서 감어나가 철근층을 짠다. 다음에 정착용헤드와 Mamilla슈를 단부에 붙인다.

거푸집은 프리스트레스를 받기 때문에 변형

하지 않는 두께 6~9mm 철판으로 제작된 2개로 조개지는 거푸집을 잘 청소하고, 탈형유를 도포하여, 그 속에 조립된 철근층과 콘크리트를 넣어 조립한다. 다음에 거푸집 일단에 유압잭을 붙여서 KS F 4306에 따라 PC강선에 소정의 긴장력을 가한다.

###### (나) 콘크리트의 투입

콘크리트의 투입에는 부어 넣는 식과 펌프 주입의 두가지가 있으나, 부어 넣기식은 콘크리트를 아래 거푸집에 넣은 철근층위에서 투입한다. 이때 콘크리트의 투입량을 계산하여 일정하게 투입하며 특히 양단의 선단부에는 취약부분이 되지 않도록 Vibrator로 다짐하여 준다.

###### (다) 원심력 다짐에 의한 성형

콘크리트의 원심력 다짐기의 표준시험방법으로서는 KS F 2454에 규정되어 있다. 원심력 다지기 경우 대체로 콘크리트 속의 조골재는 외측에 세골재와 모르타층은 내면에 재료분리가 되어 균일하게 분포시키기 어려운 경향이 있다. 따라서 원심력과 회전시간 관계를 표6과 같이 하여 재료분리를 최소화 하였다.

표 6. 원심력 성형에서의 원심력과 회전시간

시험구분	저 속		중 속		고속	
	1단	2단	3단	4단	5단	
원심력 시간	F 분	F 분	F 분	F 분	F 분	F 분
말뚝 400mm	2 4	5 2	8 3	16 2	30 3	

###### (라) 상압증기양생

상압증기양생시 전양생시간은 3 - 4시간 정도 긴것이 효과가 좋은것으로 매우 중요한 요소로 관리되어야 한다. 최고온도 65℃는 ACI에서도 보고된 바와 같으며, 너무 온도를 높이면 장기강도가 떨어지는 경향이 있다. 상압증기양생이 끝나면 거푸집을 탈형하는데 이때의 파일온도는 서서히 대기온도에서 탈형되어야 온도균열이 발생하는것을 방지할 수 있으며, 탈형된 제품은 대기양생하에서 출하한다.

###### (마) 선단부

PC말뚝 선단부는 해머의 타격에 의하여 지지반에 관입하기에 필요한 부분이다. Shoe

Type은 콘크리트로 만든 Pencil형과 철판으로 만든 Flat Type, Mamilla Type, Open Type의 Shoe가 있으나 타입시 파일 선단의 파손을 방지하고 최종 지지층까지 안전하게 관입시키는 것을 고려하여 Mamilla Type Shoe를 선정 부착하였다.

#### 4) 파일의 품질시험

##### (가) 휨강도시험

PHC Pile에 대한 품질은 KS F 4306에 프리텐션 방식의 원심력 고강도 콘크리트말뚝으로 규정되어 있으며, 휨강도 시험과 전단강도 시험결과는 표7과 같다.

표 7. 파일의 품질시험

구분	휨 모멘트 (t.m)		전단강도 (t)	비고
	균열휨 모멘트	파괴휨 모멘트		
품질 기준	5.5	8.3	15.1	KS F 4306
파일 번호1	7.2	8.4	17.5 이상	OPC
" 2	6.1	8.3	17.3 이상	HPC

#### 5. 현장시험항타 및 재하시험

말뚝의 선단지지력은 지반조건과 말뚝의 형상, 크기, 재질, 설치방법 그리고 말뚝의 특성, 말뚝설치후 시간경과, 말뚝간 거리 등 다양한 요소들에 영향을 받는것으로 알려지고 있다.

본 시험은 항타시의 파일 상태를 관찰하고 재하시험을 다음과 같이 하였다.

##### 1) 항타시험

말뚝을 지중에 관입시키기 위하여 함마를 이용한 타격에너지를 가할 경우 PHC Pile의 균열, 파손 및 관입능력을 조사하기 위하여 PC Pile과 비교하여 보았다. 항타기는 PC Pile에 K-25, PHC Pile에 K-35를 사용하였다.

여기서 PHC Pile의 최대 항타관입능력을 알아보기 위하여 6본의 파일을 항타 하였으며, 램중량이 3.5ton인 K-35 항타기로 최종관입량을 5mm - 0.3mm/blow정도로 항타하면서 파일의 파손상태를 관찰한바 PHC Pile은 두부나 몸체에 전혀 손상이 발견되지 않았다. 그러나 PC 파일은 관입량이 약5mm/blow 정도에서 두부의

균열이 발생하면서 몸체쪽으로 그 진행이 커져 항타작업을 더 이상 진행할 수 없는 파괴상태가 되었다. 사진 1.2에서 그 상태를 볼 수 있다.



사진1. PHC Pile

사진2. PC Pile

##### 2) 항타시험 결과

PHC Pile은 최종관입량을 0.6mm/blow정도까지 항타하여도 파일의 손상을 발견할 수 없었고 PC 파일의 경우 약5mm/blow에서 두부파손이 시작 되면서 몸체까지 파괴되는 상태를 확인하였다. 또한 Hiley, ENR 공식에 의한 파일의 허용지지력은 PHC Pile의 경우 118,376ton/본이며 PC 파일의 경우는 86,117ton/본으로 PHC Pile이 PC파일 보다 1.7 - 3.2배 더 큰 것으로 나타났다. 그리고 관입깊이는 동일한 지반 상태에서 PHC Pile이 PC파일 보다 약 2m 더 관입되었다.

##### 3) 재하시험

파일의 지지력과 거동상태 및 파손유무를 측정하기 위하여 가장 신뢰할 수 있는 載荷試驗을 하였다. 최대시험하중은 설계하중 80Ton의 2.5배인 200Ton으로 하여 다음과 같은 시험장치와 시험방법으로 실시하였다.

##### (가)재하장치

재하장치는 사하중을 이용한 방법으로 콘크리트 브럭과 철근을 사용하였으며 상세도는 그림8와 같다.

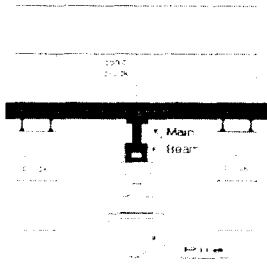


그림 8 재하시험 장치도

(나) 재하시험방법

말뚝의 재하시험방법은 ASTM표준재하방법중 완속재하법으로 재하시험을 다음과 같이 하였다.

- 총 시험하중을 8단계인 25, 50, 75, 100, 125, 150, 17 및 200Ton으로 재하함
- 각 하중단계에서 말뚝의 침하율이 시간당 침하량이 0.25mm가 될때까지 재하하중을 유지함
- 설계하중의 250%인 총 200Ton을 시험하중으로 24시간 유지시킴
- 총 시험하중을 50Ton씩 각 단계별로 시간간격을 두어 제하함

4) 재하시험 결과

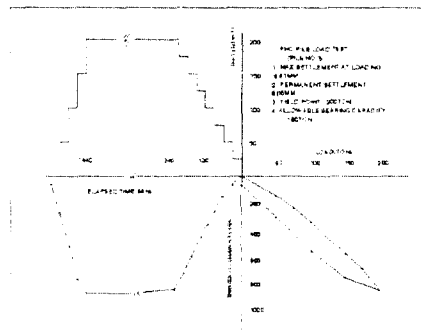


그림 9 재하시험 결과

재하시험에서 하중(P)-시간(t)-침하량(S)의 거동특성에 대한 결과는 그림9과 같으며 항복하중에 대한 판정은 P-S곡선분석, log P-log S 곡선분석, S-log t 분석, P-log S 분석등으로 한 결과 본 재하시험에서는 최대시험하중 200ton 이내에서는 항복하중이 나타나지 않았으며 안전율2을 고려한 허용지지력이 100ton이상인 것으로 확인되었다.

6. 결 론

본 연구에서는 상압증기양생법에 의한 PHC Pile 생산을 목표로 연구실험을 실시하여 1일 목표 강도 800kg/cm<sup>2</sup> 이상의 고강도콘크리트 파일을 개발하였다. 당사 창동공장과 같은 기존 설비를 이용하여도 PHC Pile을 생산할 수 있으며, 제품의 성능도 만족한 실험결과를 도출하여 사용성이 우수함을 확인하였다. 이에 대한 연구실험 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 상압증기양생에 의한 고강도콘크리트의 1일, 7일, 28일 압축강도는 각각 800 - 900, 850 - 950, 900 - 1000kg/cm<sup>2</sup>의 고강도콘크리트를 얻었다.

2) 상압증기방식에 의한 고강도콘크리트용 재료는 특수혼화재료의 선정과 최적배합의 선정이 필요하며, 여기서는 고성능감수제, Micro Silica Fume, Fly Ash, 무수석고를 사용하여 고강도를 발현하였다.

3) 고강도를 발현하기 위해 물시멘트비를 감소시킬 수 있는 최소한계는 작업성을 고려하여 25%임을 확인하였다.

4) Micro Silica Fume, Fly Ash, 무수석고 등을 혼합한 혼합시멘트나 고강도시멘트의 사용으로 보통시멘트에 비하여 300 - 350kg/cm<sup>2</sup> 정도의 콘크리트 강도가 더 증가하였다.

5) 고강도콘크리트용 조골재의 최대크기는 작을수록 강도를 크게 증진시킬 수 있으나 골재의 생산성과 경제성을 고려하여 결정되어야 하며, 최대골재 크기 13 - 19mm의 조골재 사용이 바람직하며, 성형성과 피니셔빌리티를 고려하여 고강도를 얻을 수 있는 최적의 세골 재율은 34 ~ 36% 정도로 확인 하였다.

6) 혼화재료의 사용량은 고성능감수제, Micro Silica Fume, Fly Ash는 각각 시멘트 중량의 1.8%, 10%, 10% 정도를 첨가하는 것이 적당한 것으로 나타났다.

7) 상압증기방식에 의한 PHC Pile의 생산은 특수혼화재 사용으로 인한 원가상승이 되며 경제적인 파일생산은 국산재료의 대체사용이 강구되어야 한다.

8) 원심력 다짐에 의한 PHC Pile의 성형은 콘크리트 재료의 입자의 자리가 안정하도록 원심기의 회전시간, 속도의 조절이 필요하며 저속(2), 중속(2), 고속의 5단계 구분으로 원심력이 점차 상승되도록 하여 재료분리를 방지할 수가 있었다.

9) PHC Pile의 구조적 성능은 재하시험결과 최대재하하중 200ton에서도 항복되지 않았으며

로 허용지지력은 100ton 이상으로 확인되었으며 PHC Pile의 설계하중 80ton 보다 안정한 것으로 확인 되었다.

10) PHC Pile 항타관입시 항타기는 일반 PC 보다는 용량이 큰것을 사용하여 충분한 관입이 되도록 하여야 PHC Pile의 성능을 최대한으로 이용할 수 있다.

본 연구실험을 통하여 PHC Pile의 생산은 기존의 Autoclave 방식에 의한 방법만으로 생산되는 것이 아니라 상압증기양생 방식으로도 생산이 가능함을 확인하였으며, 향후 PC파일 생산업체의 생산시설을 보유하고 있는 기존의 제조업체에게 PHC Pile 생산에 기초적 활용 자료가 될것으로 생각하며, 주어진 환경에 맞는 현장실험으로 본 연구실험의 부족한 부분을 계속 보완하여야 할것이다.

#### ▶ 참 고 문 헌 ◀

1. 장근용, "PC PILE 기술자료"
2. 과학기술처, 고강도 콘크리트 개발 및 역학적 특성연구(III) 1990
3. 박승범, 임창덕 "고황산염 시멘트를 이용한 고강도 콘크리트의 압축강도 특성에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회지, 제4권 3호 1992
4. 한국지반공학회, PHC 말뚝 학술발표회 자료 1992
5. 國府勝郎, 最新 コンワリート 技術選書 8巻 膨張 コンワリート, 高強度 콘ワリート



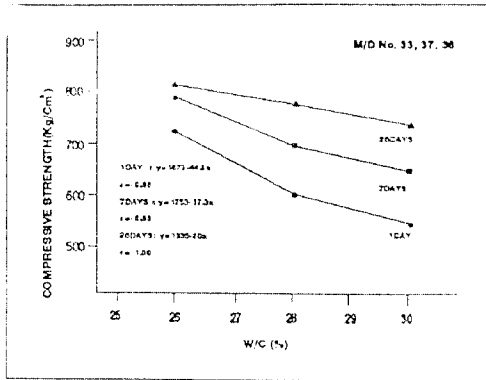


그림 1 Relationship between Compressive Strength and W/C

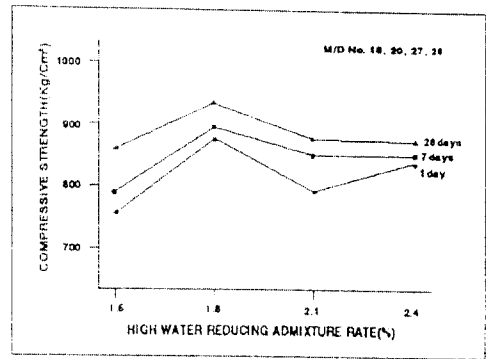


그림 4 Relationship between Compressive strength and high water Reducing Admixture Rate

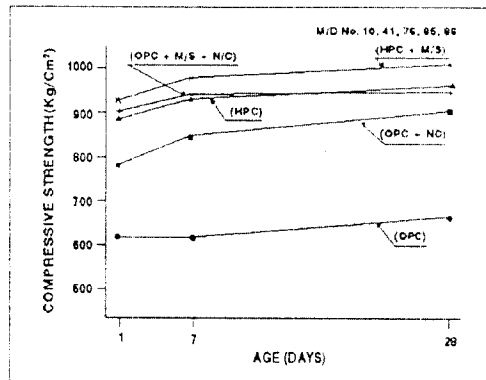


그림 2 Relationship between Compressive strength and Cement Type

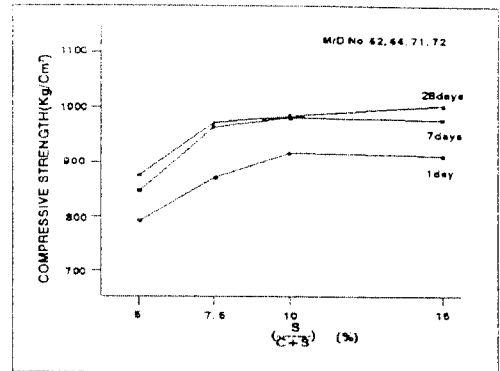


그림 5 Relationship between Compressive strength and Silica Fume rate

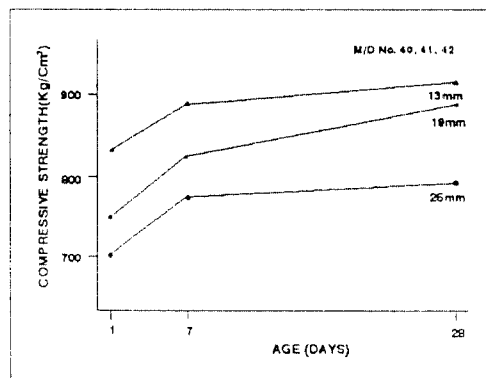


그림 3 Relationship between Compressive Strength and Coarse aggregate size

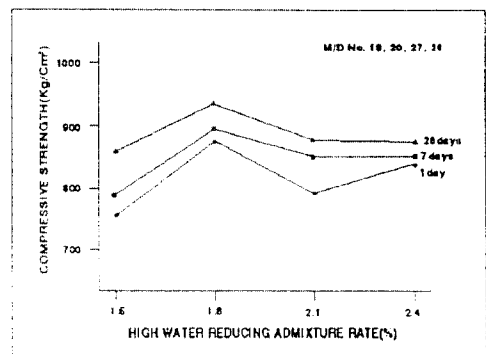


그림 6 Relationship between Compressive strength and high water Reducing Admixture Rate

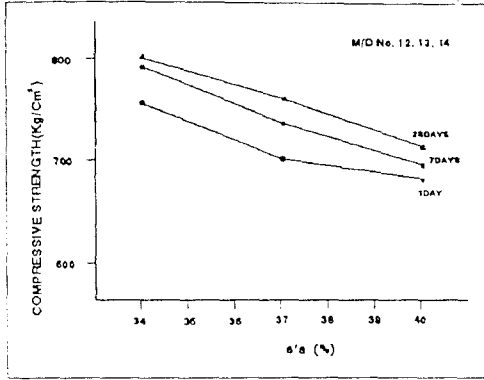


그림 7 Relationship between Compressive strength and S/A

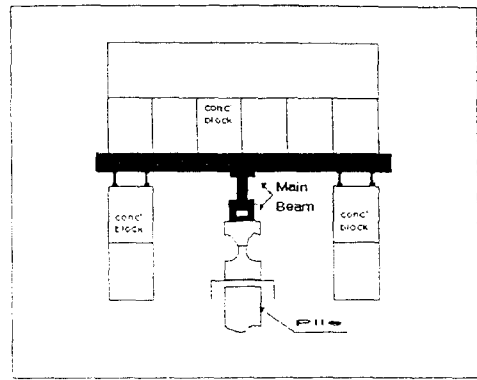


그림 8 재하시험 장치도

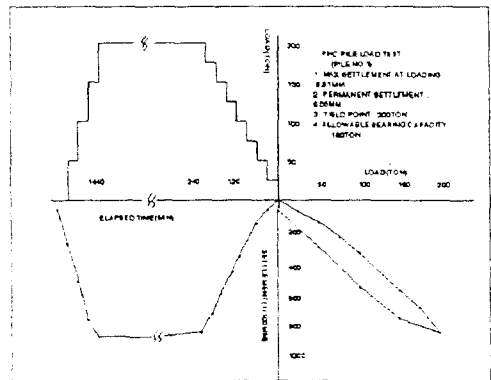


그림 9 재하시험 결과