

現場生産用 高強度 콘크리트 파일에 관한 實驗的 研究

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE PRODUCTION OF HIGH-STRENGTH CONCRETE PILE IN SITE

○ 權 寧 鎭¹⁾ 李 相 洙¹⁾ 白 明 鍾²⁾ 鄭 道 淳³⁾ 朴 沘 林⁴⁾
 KWON, YEONG-HO LEE, SANG-SOO BACK, MYUNG-JONG JUNG, DO-SOON PARK, CHIL-LIM

ABSTRACT

Up to date, high-strength concrete pile which is producing in factory sells in the market. But according to the site and the construction conditions, the system to produce high-strength concrete pile directly in site is utilized in advanced country. Such the production system is the technique phenomenon very disirable in the side of quality control in site and the construction schedule, the time and the cost saving.

This study is a fundamental experiment including concrete mixing design, non-autoclave curing method and the optimum condition to produce high-strength concrete pile in site.

As results of this study, High-strength concrete pile in site which target strength is 400 kg/cm² is able to produce it with optimum curing condition(75°C, 9hr) and mixing design.

I. 序 論

최근에 건설구조물의 高層化, 大型化에 따른 地價上昇, 環境保存 등과 같은 當面課題의 발생으로 인하여 종래에는 볼 수 없었던 각종 特殊工事が 증가되고 있다. 영종도 국제공항, 서해안 개발사업 등의 대형 프로젝트가 이미 착공되었으며, 釜山港灣의 인공도시와 같은 해안 지방 埋立工事도 활발히 진행되고 있어, 건설 구조물의 입지로는 輕視되었던 연약지반의 활용도가 높아지고 있다. 그리고 耐震設計法의 도입에 따른 구조물 안정성에 대한 인식도 변화되어 埋立地의 地盤을 구조적으로 보강하기 위한 고강도 파일의 개발 및 活用度가 증가되고 있는 실정이다.

한편, 현재 사용중인 고강도 콘크리트 파일은 대부분 공장에서 생산된 2차 제품으로 시판되고 있으나 現場條件 또는 工事與件에 따라 파일을 매설할 현장에서 직접 고강도 콘크리트 파일을 생산하는 시스템도 先進國에서 많이 활

용되고 있다. 이러한 생산체계는 공사일정 또는 運搬에 따른 시간과 비용절감, 그리고 현장에서의 品質管理 차원에서 매우 바람직한 기술 현상이라고 할 수 있다.

따라서 本 研究는 현장에서 고강도 콘크리트 파일을 제조, 생산할 수 있는 基礎的 研究로 設計基準強度 400kg/cm² 콘크리트 배합설계와 常壓蒸氣養生方式을 대상으로 최적조건을 도출하고자 하였다.

II. 實驗計劃

2.1 배합설계 변수 및 범위

현장생산용 고강도 파일의 콘크리트 배합설계 조건은 [표 1]과 같다.

[표 1] 콘크리트 배합설계 변수 및 범위

W/B (%)	S/a (%)	단위 재료량(kg/m ³)			콘크리트 조
		시멘트	배합수	고성능 감수제 (C×%)	
30~38	38~40	450~500	150~170	1.0~1.5	슬럼프 : 18cm - 플로우 : 55cm - 공기량 : 2%

- 1) 정희원 (주)대우건설기술연구소 주임연구원
 2) 정희원 (주)대우건설기술연구소 연구원
 3) 정희원 한국구조개발 주식회사 대표 이사
 4) 정희원 (주)대우건설기술연구소 소장(工博)

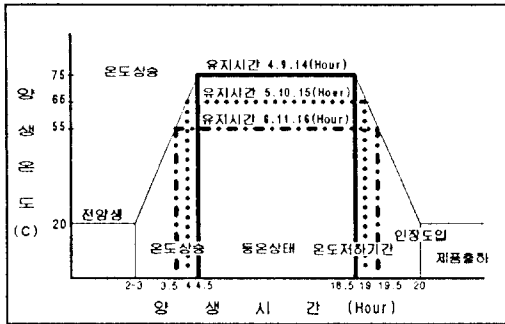
2.2 양생조건에 따른 변수

본 실험의 양생조건에 따른 변수 및 양생방법은 [표 2]와 [그림 1]과 같다.

[표 2] 콘크리트 양생조건 변수 및 범위

구분 NO.	전체양생시간 (hr)	양생조건 (상온 25℃로 가정)				후치시간 (hr)	비고
		전치시간 (hr)	상승온도 (℃/hr)	양생조건 온도(℃) 시간(hr)	하강온도 (℃/hr)		
1	11		20 (1½ hr)	55	6	20 (1½ hr)	- 계령 강도
2			20 (2 hr)	65	5	20 (2 hr)	
3			20 (2½ hr)	75	4	20 (2½ hr)	
4	16	2~3	20 (1½ hr)	55	11	20 (1½ hr)	1 시간 자양생후 표준양생
5			20 (2 hr)	65	10	20 (2 hr)	
6			20 (2½ hr)	75	9	20 (2½ hr)	
7	21		20 (1½ hr)	55	16	20 (1½ hr)	- 습도 90% 이상
8			20 (2 hr)	65	15	20 (2 hr)	
9			20 (2½ hr)	75	14	20 (2½ hr)	

또한 前置時間은 콘크리트의 응결 및 온도충격을 최소화하기 위해 [그림 1]과 같이 타설후 2시간 이상을 원칙으로 하였다.⁽¹⁾



[그림 1] 양생조건 (常壓蒸氣養生)

全體養生時間은 3 Case(11, 16, 21시간)로 선정하였으며, 이에 따른 최고양생온도는 55, 65, 75(℃)로 하여 전체양생시간에 알맞는 양생시간을 산정⁽²⁾하였다. 그리고 常溫(25℃ 기준)에서 최고온도에 도달하는 溫度上昇 및 양생후 상온에 도달하는 溫度下降은 동일하게 20℃/hr로 하였다. 또한 濕度는 90~100%를 유지시켰다.

2.3 使用材料

본 실험에서 사용된 시멘트는 KS L 5201에 적합한 S社의 內需用 보통 포틀랜드 시멘트이며, 골재는 (株)大宇 군산자동차현장에서 사용하고 있는 25mm 채석으로 비중 2.63, 흡수율

0.62%, 단위용적중량 1,578kg/m³이며, 잔골재는 비중 2.60, 흡수율 1.16%, 단위용적중량이 1,578kg/m³인 강모래를 사용하였다. 또한 고성능 감수제는 국내에서 시판되는 나프탈렌계 DAREX SUPER-20을 사용하였다.

한편, 플라이애쉬는 보령 화력발전소 및 울산 열병합발전소의 부산물을 사용하였고, 실리카흄은 노르웨이産 분말을 사용하였다. 플라이 애쉬의 화학적 성분은 [표 3], 물리적 특성은 [표 4]에 각각 정리하였다.

[표 3] 플라이애쉬의 화학적 성분

화학성분 종류	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
울산 열병합 발전소	32.9	13.8	11.8	27.8	1.32	0.61	0.62	5.88
보령 화력발전소	62.8	20.7	9.0	2.56	1.33	0.27	0.85	-
KS L 5405 (F급)	70 이상		-	5.0 이하	1.5 이하	-	5.0 이하	

[표 4] 플라이애쉬의 물리적 특성

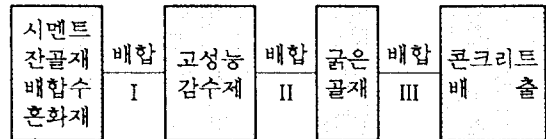
화학성분 종류	비중	분말도 (㎎/g)	습분 (%)	강열감량 (%)
울산 열병합 발전소	2.75	2,113	0.10	4.67
보령 화력발전소	2.15	3,200	0.14	3.91
KS L 5405	1.95 이상	2,400 이상	1.0 이하	6.0 이하

* JIS A 6201 규준임

2.4 實驗方法

본 실험은 고강도 콘크리트 파일을 현장에서 생산하기 위한 콘크리트 배합설계이며, 굳지않은 콘크리트의 특성은 슬럼프, 플로우, 공기량, 그리고 굳은 콘크리트의 특성은 재령별 압축강도를 대상으로 하였다.

고성능 감수제의 첨가량은 목표 슬럼프(18±2cm)를 얻는 범위에서 결정하였으며, 콘크리트 배합방법은 [그림 2]와 같이 先-모르타르 방법을 선택하였으며, 배합시간은 전체 3분으로 하였다.



[그림 2] 고강도 콘크리트 배합방법

2.5 콘크리트의 配合條件

콘크리트의 배합은 예비실험을 통하여 최적

물/결합재비를 30, 33, 35(%)로 선정하였으며, 이에 따른 단위수량은 150, 165, 175(kg/m³), 플라이애쉬의 치환율은 30%, 실리카흙의 치환율은 10%로 선정하였다. 따라서 본 실험에서 선정된 配合條件은 [표 5]와 같다.

[표 5] 고강도 콘크리트용 파일의 배합조건

구분 시험체명	배합조건 (%)			단위 재료량(kg/m ³)				비고
	W/B	S/a	고성능 감수제	C	W	S	G	
N-30-38	30	38	1.40	500	150	660	1,090	고형성분 (52.25%)
SF-30-38	30	38	1.80	450	150	639	1,059	실리카흙 50 (분말)
N-33-38	33	38	1.30	500	165	679	1,033	
SF-33-38	33	38	1.60	450	165	641	1,060	실리카흙 50 (분말)
N-35-40	35	40	1.20	500	175	669	1,018	
FA-35-40	35	40	1.60	350	175	650	984	150 (열병합)
Fa-35-40	35	40	1.60	350	175	650	984	150 (보령)

여기서 N은 混和材를 사용하지 않은 것이며, SF는 실리카흙 10%, FA는 열병합발전소의 플라이애쉬 30%, Fa는 화력발전소의 플라이애쉬 30%를 각각 치환한 것을 의미한다. 또한 B는 시멘트와 혼화재를 합한 결합재량이다.

III. 實驗結果의 分析 및 考察

3.1 굳지않은 콘크리트의 特性試驗結果

[표 6]은 굳지않은 콘크리트의 특성으로 목표 슬럼프를 18±2cm 범위에서 고성능 감수제의 첨가량으로 조절하였으며, 혼화재 사용에 따른 공기량 吸着傾向을 나타내었다.

[표 6] 굳지않은 콘크리트 특성

구분 시험체명	배합조건 (%)			콘크리트 특성 (\bar{X})			비고
	W/C	S/a	SP제	Slump (cm)	Flow (cm)	Air (%)	
N-30-38	30	38	1.40	19.5	46.2	1.9	
SF-30-38			1.80	23.0	53.0	1.6	실리카 흙 10% 치환
N-33-38	33	38	1.30	19.6	46.0	1.6	
SF-33-38			1.60	21.0	50.0	1.7	실리카 흙 10% 치환
N-35-40	35	40	1.20	19.5	44.7	2.4	
FA-35-40			1.60	24.0	49.0	1.4	열병합 FA 30% 치환
Fa-35-40			1.60	24.0	44.5	1.5	보령 FA 30% 치환

실험결과, 플라이애쉬 및 실리카흙을 치환한 콘크리트는 N시리즈에 비해 목표슬럼프를 얻기 위한 고성능 감수제의 첨가량이 증대되는 것으로 나타났다. 특히 혼화재의 첨가로 粘性 및 材料

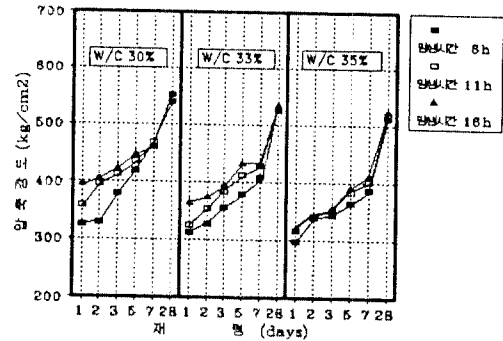
分離 抵抗性이 증가되기 때문에 가능한 범위에서 슬럼프를 높이도록 하였다.

3.2 養生溫度에 따른 콘크리트의 특성

本 研究에서 선정된 양생조건에 따른 실험결과를 양생온도별로 정리하면 다음과 같다.

3.2.1 양생온도 55℃인 경우

[그림 3]은 양생온도가 55℃일 때, 각각의 물/시멘트비에 대해 養生時間에 따른 재령별 壓縮強度를 나타낸 것이다.



[그림 3] 養生時間에 따른 재령별 壓縮強度(55℃)

[그림 3]에서 보듯이 물/시멘트비가 낮을수록 養生時間에 따른 초기재령의 強度差異는 큰 것으로 나타났다. 즉, 養生溫度가 낮을 수록 초기 재령의 강도차는 크지만 7일 이후의 재령에서는 거의 비슷한 경향을 보인다. 이는 초기에 高溫養生을 할 수록 시멘트의 水和反應이 활발히 일어나고 成熟度(Maturity)가 증가하기 때문에 초기강도의 증가를 나타낸 것으로 사료된다.⁽³⁾

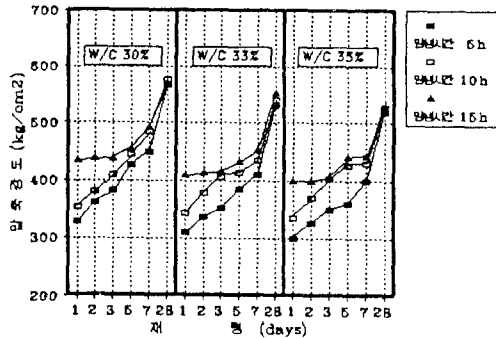
그러나 高溫養生後 표준양생을 실시한 콘크리트의 후기재령 강도는 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 초기 급속한 水和作用으로 인하여 水和生成物이 입자간극에 充填되어 未水和 시멘트 입자의 반응 및 물의 이동을 구속하기 때문에 지속적인 수화반응을 저해하는 것으로 사료된다.⁽⁴⁾

따라서 養生溫度 55℃일 때, 포스트텐션 및 항타시기의 결정은 콘크리트의 설계기준강도와 割増係數를 고려하여 정하도록 한다. 양생시간은 經濟性, 現場日程 등을 고려하여 결정해야 하며, 물/시멘트비는 30%, 양생시간은 11시간에서 最適條件을 조절하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

3.2.2 양생온도가 65℃인 경우

[그림 4]는 養生溫度가 65℃일 때, 각각의 물/시멘트비에 대한 재령별 養生時間에 따른 강도

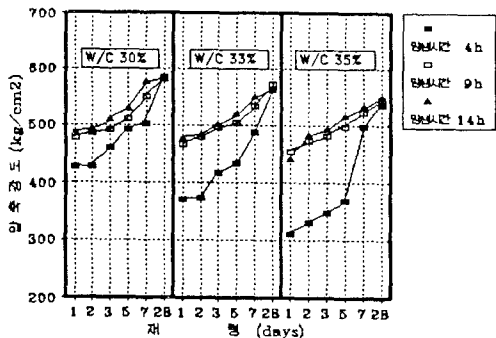
발현을 나타낸 것이다. 물론 이때도 양생온도가 55℃인 경우와 유사한 경향을 보이고 있지만 양생시간이 15시간인 경우에는 물/시멘트비에 관계없이 초기강도 발현이 큰 것으로 나타났다.



[그림 4] 養生時間에 따른 재령별 壓縮強度(65℃)

3.2.3 양생온도가 75℃인 경우

[그림 5]는 養生溫度가 75℃일 때, 각각의 물/시멘트비에 대한 재령별 養生時間에 따른 강도 발현을 나타낸 것이다.



[그림 5] 養生時間에 따른 재령별 壓縮強度(75℃)

75℃로 양생한 경우, 4시간 양생한 시험체의 초기강도는 상대적으로 낮게 나타났는데 이는 양생온도보다 양생시간의 영향이 큰 것으로 사료된다.

3.2.4 표준양생과 비교

N-35-40의 경우 양생온도가 55℃일 때 養生時間에 관계없이 재령 3일에서 표준양생한 공시체의 強度逆轉이 일어났다. 그 후 재령에서는 표준양생한 공시체의 강도발현이 큰 것으로 나타났다. 양생온도가 65℃일 때는 양생시간에 따라 약간의 차이는 있으나 재령 7일에서 표준양생한 공시체의 強度逆轉이 일어났다.

그러나 양생온도가 75℃인 경우에는 재령 28일에서 약간의 강도차이를 나타내었을 뿐 강도 역전은 일어나지 않았다.

이를 정리하면 양생온도가 높을 수록, 양생시

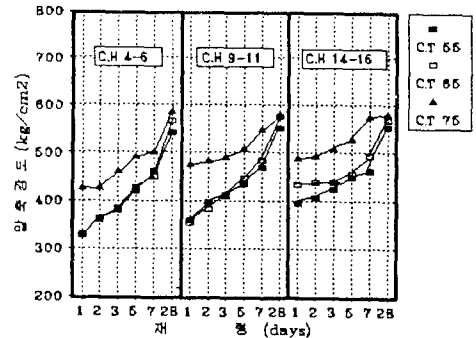
간이 길 수록, 표준양생한 공시체와의 強度逆轉 현상은 후기재령이 된다는 것을 알 수 있다.

3.3 양생시간에 따른 콘크리트의 특성

양생온도에 따른 영향을 분석한 결과, 양생온도가 높을 수록, 양생시간이 길 수록 강도발현성이 높은 것으로 나타났다. 따라서 최적양생조건을 도출하기 위해 배합조건에 따른 영향을 검토하고자 한다.

3.3.1 물/시멘트비 30%

[그림 6]은 물/시멘트비가 30%일 때의 양생온도별 양생시간에 따른 강도발현을 나타낸 것이다. 전반적인 경향은 養生溫度가 증가할 수록 초기강도가 증가하는 경향이며, 동일 양생온도에서는 양생시간이 증가할 수록 강도가 증가하고 있다.



[그림 6] 양생시간에 따른 強度發現(W/C 30%)

여기서 C.H는 양생시간이다. 積算溫度가 동일한 범위(1,000 ±100℃Hr)에서 75℃, 9시간 양생한 시험체의 효율이 가장 높았다.

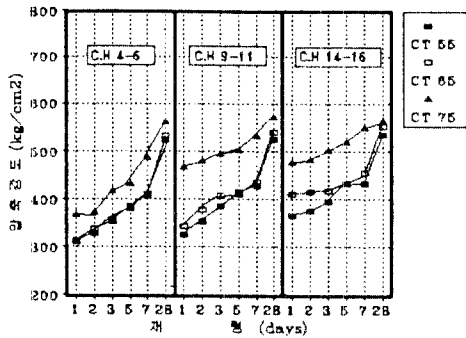
따라서 향후 고강도 파일의 현장생산에서 養生時間 및 溫度는 生産費, 抗打時期, 現場工期 등을 고려하여 정해야 하지만, 本 研究結果 養生溫度가 높을 수록 養生時間의 단축이 필요한 반면 養生時間을 길게하고 養生溫度를 낮추는 방안을 함께 검토할 필요가 있다.

3.3.2 물/시멘트비 33%

[그림 7]은 물/시멘트비가 33%일 때의 養生溫度別 養生時間에 따른 강도발현을 나타낸 것이다. 強度發現 性狀을 비교해 보면, 養生時間(C.H)이 짧은 4~6시간에서는 養生溫度의 영향이 크지 않으나 養生時間이 9시간 이상인 경우 養生溫度에 따른 강도발현 차이가 크다.

즉, 養生溫度의 差가 동일하게 10℃에서도 55℃와 65℃의 결과는 유사한 반면, 75℃인 경우는 強度差가 크다. 따라서 전반적인 결과로 볼 때, 고온양생의 효율적인 水和度에 기여하는 養生溫度의 변곡점이 존재할 것으로 사료되지만

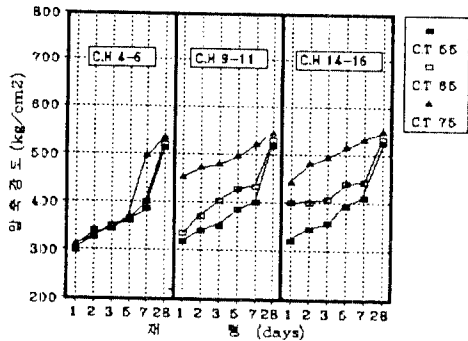
배합조건의 영향도 크기 때문에 현장적용에 앞서 검증단계를 거쳐야 할 것으로 사료된다.



[그림 7] 양생시간에 따른 强度發現(W/C 33%)

3.3.3 물/시멘트비 35%

[그림 8]은 물/시멘트비가 35%일 때의 養生溫度別 養生時間에 따른 강도발현을 나타낸 것이다.



[그림 8] 양생시간에 따른 强度發現(W/C 35%)

養生時間이 증가할 수록 養生溫度의 차이에 따른 강도발현이 현저한 차이를 나타내고 있다. 특히 養生溫度가 75℃일 때, 養生時間이 4시간에서 9시간으로 증가함에 따른 강도증가는 매우 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 영향을 검토하여 초기에 현장에서 高强度 파일을 製造・生産하기 위해서는 養生溫度 75℃, 養生時間 9시간이 가장 적합한 것으로 사료된다.

그러나 현장의 설비에 따른 經濟性, 生産性을 종합적으로 판단한 후 결정하는 것이 요망된다.

3.4 磊和材料에 따른 콘크리트의 특성

산업부산물인 플라이애쉬, 실리카흄을 활용하기 위해 비교실험을 수행하였으며, 결과를 정리하면 다음과 같다.

3.4.1 플라이애쉬

[표 7]은 물/결합재비가 35%일 때, 플라이애

쉬의 치환한 콘크리트의 양생조건에 따른 재령별 강도특성을 나타낸 것이다.

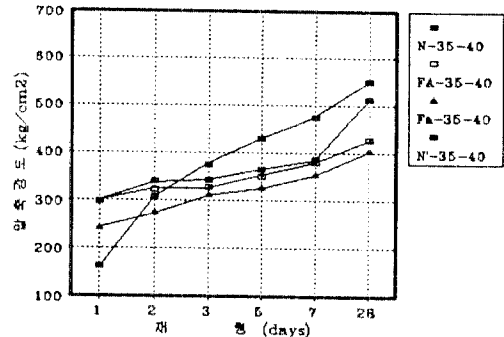
[표 7] 플라이애쉬 콘크리트의 특성비교

구분 시험명	W/B (%)	S/a (%)	양생조건 (양생시간)	재령별 압축강도(kg/cm²)					
				1일	2일	3일	5일	7일	28일
N-35-40	35	40	6 hr (55℃ 양생)	298	339	343	364	386	512
FA-35-40				298	322	327	350	378	428
Fa-35-40			243	275	312	327	354	403	
N'-35-40			표준양생		161	307	373	429	474

여기서, FA-35-40은 열병합발전소 플라이애쉬를 30%, Fa-35-40은 화력발전소 플라이애쉬를 30% 각각 치환한 것이다. 일반적으로 플라이애쉬를 置換하면 지속적인 포졸란 반응때문에, 初期强度는 낮지만 장기강도는 높다.

[표 7]에서 보듯이 플라이애쉬를 사용한 경우가 강도발현이 낮다. 또한 표준양생과 비교해 볼 때, 强度逆轉이 초기에 일어나며 화력발전소 플라이애쉬에 비해 열병합발전소 플라이애쉬의 강도발현이 약간 높게 측정되었다.

[그림 9]는 플라이애쉬 콘크리트와 일반 콘크리트의 고온양생 및 표준양생 결과를 나타낸 것이다.



[그림 9] 플라이애쉬 콘크리트의 강도특성 비교

물/시멘트비가 35%일 때, 양생온도가 낮고 양생시간이 짧기 때문에 강도발현이 낮다는 것은 앞에서 규명되었다. 따라서 표준양생에 비해 초기재령에서 强度逆轉이 발생하기 때문에 초기강도를 향상시키기 위해서는 양생온도 및 양생시간을 증가시키는 방안이 바람직하다.

특히 열병합발전소의 플라이애쉬는 C급으로 분류되며, F급에 비해 강도발현성이 높다. 이러한 부산물의 활용도를 높이기 위해 현재 KS기준에 없는 C급 플라이애쉬의 품질성능을 반영하는 방안도 함께 검토해야 할 것이다.

3.4.2 실리카흄

[표 8] 및 [그림]은 물/결합재비가 30%, 33%

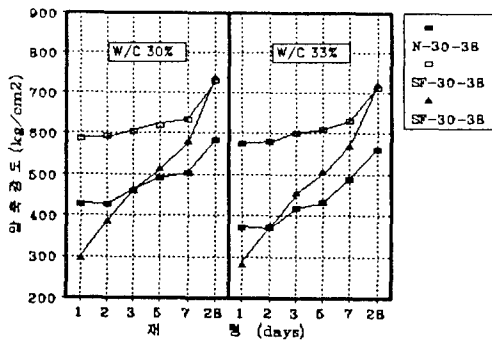
일 때, 실리카흙을 10% 치환한 것과 사용하지 않은 콘크리트의 양생조건에 따른 재령별 강도 특성을 나타낸 것이다.

[표 8] 실리카흙 콘크리트의 특성비교

구분 시험체명	W/C (%)	S/a (%)	양생조건 (양생시간)	재령별 압축강도(kg/cm ²)					
				1일	2일	3일	5일	7일	28일
N-30-38	30	38	4 hr(75°C)	426	427	460	490	502	585
SF-30-38			4 hr(75°C)	587	592	605	621	633	728
SF'-30-38			표준양생	295	385	466	514	580	740
N-33-38			4 hr(75°C)	370	372	417	433	488	561
SF-33-38	33	38	4 hr(75°C)	576	582	600	611	630	712
SF'-33-38			표준양생	282	375	455	507	570	721

[표 8]에서 보듯이 실리카흙을 10% 치환한 고강도 콘크리트의 특성은 高温養生 直後の 초기재령 강도가 500kg/cm² 이상을 나타내었으며, 표준양생과 비교해 볼 때 초기재령에서의 强度逆轉은 발생하지 않았다. 이러한 특성은 실리카흙의 微粉末 입자가 콘크리트의 수화물에 작용하는 Micro-Filler 효과와 초기 포졸란 활성도가 높기 때문에 초기 高温養生에서도 높은 강도발현을 한 것으로 사료된다.

따라서 강도수준을 고려할 때, 현장생산 고강도 파일에서 실리카흙을 도입하는 방안도 검토할 볼 필요가 있다. 초기강도 효과 외에 매립지반에 항타할 파일의 장기거동, 즉 열해침투 및 투수성 등을 고려할 때 실리카흙을 사용하여 콘크리트의 이러한 특성을 향상시키는 것도 매우 바람직한 것으로 본다.



[그림 10] 실리카 흙 콘크리트의 强度特性 比較

[그림 10]에서 보는 바와 같이 동일한 高温養生條件에서 실리카흙을 10% 치환한 콘크리트(SF-30-38)은 치환하지 않은 콘크리트(N-30-38)에 비해 초기강도 발현차이가 매우 큰 것으로 나타났다. 또한 실리카흙을 10% 치환한 표준양생의 경우(SF'-30-38), 치환하지 않은 고온양생 콘크리트에 비해 2~3일 재령에서 强度逆轉이 일어나며 28일까지 급격하게 증가한다.

그러나 실리카흙을 치환한 고온양생 및 표준양생 콘크리트의 재령별 强度逆轉은 일어나지 않았다. 이는 양생온도의 영향도 크지만 포졸란 활성도가 고온에서 촉진되는 영향도 있을 것으로 사료된다.

향후 高强度 콘크리트의 파일의 현장생산에 실리카흙을 사용할 경우에는 經濟性을 고려하여 결정해야 하며, 생산시스템 및 설비도 함께 고려해야 할 것이다.

IV. 結論

본 연구는 현장에서 직접 고강도 파일을 생산하기 위한 기초연구로 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 물/시멘트비가 30%일 때, 양생온도 75°C에서는 양생시간에 관계없이 재령 1일에 400 kg/cm² 이상의 압축강도를 나타내었다.
- 2) 물/시멘트비 33~35%일 때, 양생온도가 높을 수록, 양생시간이 길 수록 초기재령에서 목표강도를 얻을 수 있다.
- 3) 성숙도를 고려할 때, 最適養生條件은 75°C, 9시간 양생을 하는 것이 가장 적합하다. 그러나 현장조건 및 경제성을 고려하여 선정하는 것이 바람직하다.
- 4) 현장 양생설비에 따라 고온의 단기양생, 또는 저온의 장기양생을 선정하도록 하며, 프리스트레싱 導入時期 및 항타시키는 배합강도 및 규준에 따라 실시한다.
- 5) 化學的 侵蝕이 우려되는 매립지반에 파일을 항타할 경우, 실리카흙 또는 플라이애쉬를 치환하는 방안이 필요하다.

〈참고문헌〉

- (1) A.G.A,Saul, "Principles underlying the Steam Curing of concrete at atmospheric pressure", Cement Concrete Association, Tech, Rep. TRA/196, London, July, 1955.
- (2) Soroka.I., Jaegermann.C.H., "Short Term Steam Curing and concrete Later age Strength", Mater, Struct., 11, No.62, 93~96(1978)
- (3) Mamillan.M., "Experimental Research on the Acceleration of concrete Hardening by Heat Treatment", Ann, Inst, Tech, Batim, Travel, Publ 23, No.267/8, 133~203(1970)
- (4) 鈴木一孝, "セメントペーストの水和と物性", 콘크리트工學, Vol.19, No.11, pp.15~24. 1981
- (5) 大井孝和, "養生溫度の變動がコンクリート強度發現に及ぼす影響-積算溫度方式の適合性に關連して-", 日本建築學會論文報告集, No.307, pp.1~11, 1981