NAC 방식 고강도 콘크리트 파일의 초기강도증진을 위한 배합에 대한 연구

Mixture Study for Early-age Strength Improvement of NAC-typed High-strength Concrete Piles

이 성 태^{1)*}
Yi, Seong Tae

노 재 호²⁾
Noh, Jae Ho

허 형 석³⁾
Heo, Hyung Seok

Abstract

Due to the influence of global oil prices, industrial productivity, which oil consumption is high, was significantly reduced. AC type of high-strength PHC piles is being manufactured through twice the steam curing process and this have resulted in a significant rise for product's manufacturing costs. NAC way other types of file manufacturing process has the advantage of reducing manufacturing costs by a turn of the steam curing. Nevertheless, because the initial strength be poor than that of AC method, shipment is being after the curing period of approximately three days. In addition, the growth of the product enhance with curing period can not be avoided, as a result, cost of inventory is acting as the rise. Piles by the AC method is immediately shipped after curing, damaging problems does not occur when they are introduced to the field site (for example, pile on-site). In the case of NAC, however, at least after the curing period of three days and after expressing the strength of 80 MPa or more, they are shipped on the scene. Therefore, NAC type has problems as follows: (1) increase in moderate inventory holding costs with type and (2) breakage in the field due to lack of strength.

In this study, for NAC-typed PHC files, mixing characteristics research for the strength development at 1 day equivalent to AC method were conducted and strength characteristics with changes of original materials were evaluated were also identified.

Keywords : NAC-type, High-strength Concrete Piles, Early-age, Strength Improvement, Mixture Characteristics

1. 서 론

우리나라에서 1970년대 초반까지는 주로 RC (Reinforced Concrete) 파일을, 1970년대 후반부터 1990년대 초반까지는 PC (Prestressed Concrete) 파일을 사용하였다. 그러나, 구조물이 점점 고층화, 대형화되고 각종 특수공사가 증가됨에 따라 좀 더 발전된 말뚝의 시공방법이 요구되었다. 그리고 연약지반에서의 건설과 해안공사도 활발해지고 내진설계법의 도입과 함께 구조물의 안전성에 대한 인식도 달라짐에 따라 기초의 구조적 보강을 위해 사용되는 말뚝은 좀 더 깊은 관입깊이와 큰 지지력을 필요로 하게 되었다. 결국, 이러한 여러 가지 사회적 요구에 의해 기존 PC 파일의 개선책으로써 PHC파일 (Pre-cast High-strength Concrete Pile)이 실용화되었고, 현재는

대부분의 현장에서 이 PHC 파일이 사용되고 있다. PHC 파일은 원심력을 응용하여 만든 콘크리트의 압축강도가 80 MPa 이상의 프리텐션방식에 의한 고강도 말뚝을 말한다.

PHC 파일은 1992년에 일본에서 기술을 도입하여 처음으로 생산되기 시작했으며, 이후 PHC 파일의 생산량은 꾸준히 증가하여, 현재는 국내 총 콘크리트 파일 생산량의 대부분을 점유하고 있는 실정이다.

PHC 파일은 현장에서 항타 시공시의 충격에 저항하는 안전성을 확보하기 위해 80 MPa 이상의 압축강도를 발현해야 하며 제품의 제조 과정에서 요구되는 작업성과 양생직후의 거푸집 탈형시에 요구되는 소요강도와 파일 내면의 미려한 성형성 등을 만족해야 한다.

프리캐스트 콘크리트 제품은 그 성형방법에 따라 원심

1) 정회원, 인하공업전문대학 토목환경과 교수, 교신저자

2) 정회원, (주)제이엔티아이엔씨 대표이사

3) 정회원, (주)제이엔티아이엔씨 연구팀장

* Corresponding author : yist@inhac.ac.kr 032-870-2237

• 본 논문에 대한 토의를 2012년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 2012년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

력에 의해 성형되는 제품 (콘크리트 관, 콘크리트 전주, 콘크리트 파일 등)과 진동에 의해 성형되는 제품 (진동관, 콘크리트 침목, 콘크리트 채널 등)으로 분류되기도 한다. 현재까지 PHC 파일에 대해서는 순환잔골재를 PHC 파일에 적용하는 연구 (심종성 등, 2009)와 PHC 파일의 제조와 물성에 관한 연구 (정재동 등, 1992) 등이 진행되어 왔다. 또한, PHC 파일에 PC계 혼화제의 적용에 관한 연구 (이성태 등, 2011)도 활발히 진행되고 있다.

일반적으로 레미콘 제품과 같이 현장 타설형 콘크리트는 설계기준강도를 발현하기 위한 28일의 양생기간을 거치나 공장생산 제품인 프리캐스트 제품은 제품의 생산 주기 (Cycle)와 출하에 소요되는 기간을 단축시키기 위하여 증기양생 ((사)한국콘크리트학회, 2009)과 같은 촉진양생을 실시한다. 이와 같이 콘크리트 성형 후 고온의 증기에 의한 급속양생을 실시하는 경우, 거푸집 탈형시에 설계강도의 약 80% (28일 강도 기준) 이상의 조기강도가 발현되며 양생방법은 고강도 PHC 파일의 제조 방법에 따라 상압증기양생으로 제조되는 AC (Autoclaved Curing) 방식과 고온증기양생으로 제조되는 NAC (Non-Autoclaved Curing) 방식으로 분류된다. NAC의 경우에는 고온증기양생 (85℃) 만을 수행하며, AC의 경우는 고압증기양생 (85℃)과 상압 증기양생 (180℃, 10기압)을 수행함으로써 양생이 종료된다. 이 논문에서 NAC 방식과 AC 방식으로 생성되는 PHC 파일은 각각 “NAC 파일”과 “AC 파일”로 칭하였다.

세계적인 고유가의 영향으로 석유 소비가 높은 산업의 생산성은 현저히 저하되었다. 고강도 PHC 파일 중 AC 방식은 2차례의 증기양생 공정을 거쳐 제조되고 있으며, 이는 제품의 제조원가에 심각한 상승을 초래하고 있다.

다른 형식의 파일 제조 공정인 NAC 방식은 1차례의 증기양생을 함으로써 제조 원가가 절감되는 장점이 있음에도 불구하고, 초기 강도가 AC 방식보다 저하되기 때문에 약 3일 정도의 양생기간을 거쳐 출하되고 있으며, 양생기간에 따른 제품 재고의 증가를 피할 수 없으므로 이는 제조원가 상승의 요인으로 작용하고 있다.

AC 방식은 양생 직후, 즉시 출하되며 현장 도입 (항타 현장 등) 시 파손 등의 문제가 발생되지 않으나, NAC의 경우는 최소 3일의 양생기간을 거쳐 강도 80 MPa 이상을 발현 후 현장에 출하된다. 따라서, NAC는 종류별 적정 재고유지 비용의 증가와 강도부족 시 현장에서 파손이 발생하는 문제점을 안고 있다.

대부분의 대량생산업체는 AC 방식의 파일을 생산하고 있으며, 또 다른 몇몇 업체에서는 공장 설립비용이 적고 제조 원가가 낮은 NAC 방식을 주로 생산한다.

따라서, 본 연구에서는 NAC 방식의 PHC 파일에 대하여 AC 방식과 동등한 1일 강도를 발현하기 위한 배합특성 연구를 수행하였고, 원재료 변화에 따른 강도 특성도 파악하였다. 즉, 이 연구에서는 압축강도의 발현 인자별로 실내 배합실험을 실시하였고, 검토된 배합을 이용하여 본 공정 생산을 통해 각각의 재령별 강도를 확인하였다.

2. NAC 방식과 AC 방식 파일의 장·단점

2.1 NAC 방식 파일의 장·단점

NAC 방식 파일의 장점으로 ① 고온증기양생만으로 고강도를 발현할 수 있고, ② 수화조작이 치밀하여 화학적 저항성 등, 콘크리트의 내구성측면에서 우수하며, ③ 장기적으로 지속적인 강도증진 (최대 120 MPa)이 가능하고, ④ 온도균열이 거의 발생하지 않으며, ⑤대구경 말뚝의 경우 생산성이 높다. 이와 비교하여 단점으로는 ① 원재료비가 높고, ② 콘크리트 물성의 품질관리가 어려움 등을 들 수 있다. Fig. 1은 본 연구의 대상이 되는 NAC 방식의 파일이 고온증기양생되는 과정중의 한 모습을 나타내고 있다.

2.2 AC방식 파일의 장·단점

AC 방식 파일의 장점으로 ① 원재료비가 저렴하며, ② 콘크리트의 품질관리가 용이함을 들 수 있다. 이와 비

Fig. 1 Curing method of NAC-typed piles

교하여 단점으로는 ① 초기설비 투자비가 높으며, ② 2차양생 (180℃, 10기압)에 의한 강선의 응력손실이 발생하기 쉽고, ③ 급냉으로 인해 피로강도가 취약하며, ④ 장기적으로 강도증진율이 낮은 점 등을 들 수 있다.

3. NAC 방식 파일의 배합특성 실험

3.1 실험 목적

본 연구에서 구명하고자 하는 실험의 주목적은 다음과 같다.

- ① NAC 방식 파일의 초기강도를 증진시켜 AC와 동등한 물리적 특성을 확보한다.
- ② 사용재료의 강도발현에 대한 경향을 파악한다.
- ③ 실내 및 공정시험을 통해 콘크리트의 작업성, 성형성 그리고 현장에서의 생산성을 검토한다.

3.2 실험 변수

PHC 파일의 배합특성을 파악하기 위한 실험변수는 아래의 Table 1과 같다.

본 연구에서 적용한 PHC 파일의 다짐조건과 양생조건은 각각 아래의 Table 2 및 Fig. 2와 같다.

3.3 재료적 특성

실험에 사용된 원재료는 현장의 재료를 사용하는 것으

Table 1 Test variables for mixture characteristics of NAC piles

item	consideration	contents
w/c	usage	24.5%, 23.7%, 22.9%, 21.7%
high-strength admixture (calcium sulfate, CS)	usage	C*7% , 8.5%, 10%
10mm aggregate substitution ratio	usage	30%, 35%, 45%, 50%
super-plasticizer	kind	standard, high early age (HEA), inorganic salts type

Table 2 Compaction condition

item	compaction condition				
	step 1	step 2	step 3	step 4	total
rpm	85	180	480	650	—
time (second)	150	60	150	270	630

로 했으며, 시멘트와 고강도 혼화제는 실험시마다 해당 공정에서 수거하여 사용하도록 했다 (Table 3 참조).

고성능감수제는 J사에서 공급중인 표준제품을 기준으로 하였고, 시험배합시에는 J사로부터의 추가적인 요청에 의하여 초기강도형 PC와 무기염형 PC를 사용하였다.

3.4 실내실험

3.4.1 배합표

실내실험에서 사용된 재료의 배합은 Table 4와 같다.

3.4.2 실험결과

실내실험으로부터 얻은 실험결과는 Table 5 및 Fig. 3과 같다.

현재 생산되는 NAC 파일의 실내실험결과, 기준배합에서의 1일 압축강도는 71 MPa이며, 3일간 양생 후에는 75.5 MPa를 발현함으로써 AC 수준에는 상당부분 미치

Fig. 2 Curing condition

Table 3 Materials' characteristics

item	contents	main producing areas
mixed water (W)	water	—
cement (C)	Type I OPC	D Co.
high-strength admixture (CS)	calcium sulfate	D Co.
fine aggregate	S-1 10mm below crushed sand	J area
	S-2 Nakdong river natural sand FM=2.0	J area
coarse aggregate (G)	Gmax=25mm	crushed aggregate
super-plasticizer	HEA type PC	J Co.

Table 4 Mixture proportions (room test)

item	mixture proportions						superplasticizer type
	w/c (%)	S/a (%)	fine aggregate ratio (%)		SP (C*%)	CS (C*%)	
			s1	s2			
control	24.5	43.5	30	70	1.6	7	standard type
test-11	24.5	43.5	30	70	1.6	7	HEA type
test-12	24.5	43.5	30	70	1.6	7	inorganic salts type
test-21	23.7	43.5	35	65	1.8	7	HEA type
test-22	23.7	43.5	35	65	1.8	10	HEA type
test-31	22.9	43.5	45	55	1.8	10	HEA type
test-32	22.9	43.5	50	50	1.8	8.5	HEA type
test-33	21.7	43.5	50	50	1.85	8.5	HEA type

Table 5 Test results (room test)

item	workability	inner formability
control	excellence	excellence
test-11	excellence	excellence
test-12	excellence	excellence
test-21	excellence	excellence
test-22	excellence	excellence
test-31	viscosity increase	slight protrusion of aggregate
test-32	viscosity increase	severe protrusion of aggregate
test-33	viscosity increase	severe protrusion of aggregate

Fig. 3 Compressive strengths with test condition

지 못한 것으로 나타났다.

w/c 23.7% 이상에서는 작업성과 내면 성형이 매우 양호하였으나, 그 이하의 w/c에서는 콘크리트에 점성이 증가하여 작업성 및 성형성의 저하가 뚜렷하였다. 특히, 10mm 이하 골재의 사용비율이 50% 이상인 경우 원심성형을 수행한 시편의 내면에 자갈의 돌출이 뚜렷하여 공정실험에서의 적용에는 부적합할 것으로 판단되었다.

혼화제 변경에 따른 강도증가 현상은 조강형 PC의 경우가 표준형에 비해 상당량 증가하는 것으로 나타났으나,

목표강도 (80 MPa)에는 도달하지 못하였으며, 무기염계 혼화제를 사용한 일반 콘크리트에서는 강도증진효과가 명확히 나타나나 증기양생용 PHC 파일에서의 초기강도는 기준배합과 유사하였으며 3일 강도에서는 오히려 저하되는 경향을 나타내었다. (PCA, 1991)

최종적으로 강도에 대한 실험결과로부터 물-시멘트비와 잔골재 혼합비 및 CS 사용량의 조절에 따른 강도증가 현상이 현저한 것으로 파악되었다.

실내실험 시의 강도와 비교하여 공정실험에서는 일반적으로 강도가 약 2.0~3.0 MPa 증가하는 경향을 나타내므로 (이 실험에서도 이와 유사한 결과를 얻었음) 공정실험에서는 78 MPa 이상의 압축강도를 발현한 test-22을 선정하여 기준배합과 비교하였다. 또한, 조강형 혼화제를 사용한 경우의 강도 영향을 파악하기 위하여 test-11배합을 선정하였다. Fig. 4는 실내실험에서의 작업성과 성형성이 좋은 경우를, Fig. 5는 작업성과 성형성이 불량한 경우를 각각 나타낸다.

3.5 공정실험

3.5.1 배합표

공정실험에서 사용된 재료의 배합과 성형모습은 각각 Table 6 및 Fig. 6과 같다.

3.5.2 실험결과

공정실험으로부터 얻은 실험결과는 Table 7 및 Fig. 7과 같다.

매 배치마다 해당 공정에서 시료를 채취하여 압축강도용 공시체를 제작하였으며, 시험배합에서 콘크리트의 작업성 및 성형성은 만족스러운 결과를 나타내어 배합 설정

(a) fresh concrete

(b) inner condition of specimens

Fig. 4 Excellence for workability and formability

(a) fresh concrete

(b) inner condition of specimens

Fig. 5 Bad for workability and formability

Table 6 Mixture proportions (real construction process test)

item	mixture proportions					CS (C*%)
	w/c (%)	S/a (%)	fine aggregate ratio (%)		SP (C*%)	
			s1	s2		
control	24.5	43.5	30	70	1.6	7
test-11	24.5	43.5	30	70	1.6	7
test-22	23.7	43.5	35	65	1.8	10

은 적절한 것으로 파악되었다. 따라서, 공장에서 PHC 파
일제품의 제작은 모든 시험배치의 경우에 가능할 것으로
판단되었다.

공정실험에서 혼화제는 적정량을 미리 준비하여 배합
수 계량탱크에 직접 투입하는 방식으로 진행하였고, 매
배치마다 공시체를 성형하여 강도를 측정하였다.

1일 압축강도의 측정 결과, 기준배합은 1일에 73.5

(a)

(b)

Fig. 6 Casting of specimens

Table 7 Test results (real construction process test)

item	workability	inner formability
control	excellence	excellence
test-11	excellence	excellence
test-22	excellence	excellence

Fig. 7 Compressive strengths with test condition

MPa를 발현하고 3일에 77.0 MPa를 발현함으로써 실내 시험에 비해 각각 2.5 MPa와 1.5 MPa정도 증가한 것으로 나타났으나, 1일에 80.0 MPa에는 미치지 못하였다.

test-11 또한 실내시험결과와 비교하여 1.3 MPa 이상 강도의 증진이 확인되었으며, 기준배합보다는 양호하나 80 MPa에는 여전히 부족하였다. test-22에서는 1일에 80 MPa를 초과하였고, 3일에 82 MPa 이상을 발현함으로써 요구성능을 만족하였다.

Fig. 8은 충진이 잘되고 다짐이 양호한 경우를 Fig. 9는 충진이 잘 안되고 다짐이 불량한 경우를 각각 나타낸다.

4. 결 론

본 연구에서는 NAC 방식 파일의 초기강도를 AC 방식과 등등한 수준인 1일 80 MPa 이상으로 증진시키기 위한 실험을 진행하였으며, 진행방법으로는 각각의 강도 증진 요인에 대해 실내시험과 공정시험을 거쳐 작업성, 성형성 및 압축강도를 측정함으로써 NAC 파일의 강도증진 효과를 파악하였다.

- (1) 혼화제의 종류를 변경하여 조강형과 무기염계를 적용하여 강도증진 효과를 파악한 결과, 조강형의 경우 강도증진 효과는 상당량 나타났지만, 목표강도에 도달하지는 못하였고, 무기염계는 기준배합에 비해 1일 강도는 유사하나 3일 강도에서는 오

Fig. 8 Excellence for filling and compaction

Fig. 9 Bad for filling and compaction

히려 저하가 발생되어 강도증진 효과가 없는 것으로 파악되었다.

- (2) 배합별 콘크리트 강도는 w/c가 낮아짐에 따라 증가하는 일반적인 경향을 보이고 있으며, CS가 증가할수록 강도는 증가하는 것으로 나타났고, 또한 10mm 이하의 골재량이 증가함에 따라 콘크리트의 기계적인 결합력의 증대로 강도가 증가하는 경향을 보였다. 즉, w/c를 낮추고, CS를 증가시키고, 10mm 이하 골재량을 증가시킨 test-31, 32, 33의 모든 배합에서는 1일에 80 MPa 이상을 발현하여 목표강도를 만족하였다. 그러나, 콘크리트의 점성이 상당히 증가되어 작업성이 저하되고, 강도측정용 시편의 성형후 내면에 자갈의 돌출이 관찰됨으로써 성형성에는 문제 있는 것으로 파악되었으며 이를 본 생산에 적용하는 것은 적절치 못한 것으로 판단된다.

- (3) 공정실험에서는 실내시험 결과에서 양호한 강도를 발현한 test-22를 선정하였고, 기준배합과 비교하기 위해 test-11을 병행하여 시험을 진행한 그 결과, 기준배합과 test-11에서는 실내시험 시의 압축강도에 비해 상당량 증가된 값이 확인되었으나, 여전히 목표강도에는 미치지 못하였다. 하지만, 배합조정을 통해 강도를 증가시킨 test-22에서는 1일에 81.5 MPa를 발현함으로써 목표강도를 만족시켰다.

본 연구를 통해, 현재 사용되는 배합으로는 1일에 80 MPa 이상의 발현이 어려운 것으로 사료되며,

목표강도 80 MPa를 만족하기 위한 배합조건으로 물-시멘트비를 줄이는 것과 CS의 증가 및 골재비율의 조정이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2010년 중소기업 기술혁신과제(2010-S1071671)의 지원으로 수행되었습니다. 연구 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. (사)한국콘크리트학회, 콘크리트표준시방서, 국토해양부, 2009, pp.303-310.
2. 심종성, 박철우, 박성재, 김태광, 마창남, “고품질 순환골재를 사용한 PHC파일의 적용 가능성 연구”, 한국콘크리트학회 2006년도 가을 학술발표회 논문집, vol. 18, No. 2, 2006, pp.345-348.
3. 이성태, 노재호, 박철주, 허형석, “프리캐스트 고강도 콘크리트 (PHC) 파일에 조강형 폴리카본산(PC)계 혼화제의 적용에 관한 연구”, 구조물진단학회지, vol. 15, No. 1, 2011, pp.263-270.
4. 정재동, 김원기, 김진철, “프리스트레스트 콘크리트 파일의 제조와 물성에 관한 연구(I)-콘크리트 파일의 원심 성형에 미치는 각 요인의 영향”, 한국콘크리트학회 1992년도 가을 학술발표회 논문집, vol. 4, No. 2, 1992, pp.228-233.
5. Kosmatka, S. H., Design and Control of Concrete Mixtures, PCA (portland cement association), Engineering bulletin, Thirteenth edition, 1991, pp.66-77.

(접수일자 : 2011년 12월 4일)

(수정일자 : 2012년 2월 6일)

(심사완료일자 : 2012년 2월 13일)

요 지

세계적인 고유가의 영향으로 석유 소비가 높은 산업의 생산성은 현저히 저하되었다. 고강도 PHC 파일 중 AC 방식은 2차례의 증기양생 공정을 거쳐 제조되고 있으며, 이는 제품의 제조원가에 심각한 상승을 초래하고 있다. 다른 형식의 파일 제조 공정인 NAC 방식은 1차례의 증기양생을 함으로써 제조 원가가 절감되는 장점이 있지만, 초기 강도가 AC 방식보다 저하되기 때문에 약 3일 정도의 양생기간을 거쳐 출하되고 있으며, 양생기간에 따른 제품 재고의 증가를 피할 수 없으므로 이는 제조원가 상승의 요인으로 작용하고 있다. AC 방식은 양생 직후, 즉시 출하되며 현장 도입 (항타현장 등) 시 파손 등의 문제가 발생되지 않으나, NAC의 경우는 최소 3일의 양생기간을 거쳐 강도 80 MPa 이상을 발현 후 현장에 출하된다. 따라서, NAC는 종류별 적정 재고유지 비용의 증가와 강도부족 시 현장에서 파손이 발생하는 문제점을 안고 있다.

본 연구에서는 NAC 방식의 PHC 파일에 대하여 AC 방식과 동등한 1일 강도를 발현하기 위한 배합특성 연구를 수행하였고, 원재료 변화에 따른 강도 특성도 파악하였다.

핵심 용어 : NAC 방식, 고강도 콘크리트 파일, 초기강도, 강도증진, 배합특성