

PHC 파일의 재료분리층에 대한 실험연구

An Experimental Study on the Segregated Layers of Materials for Pretensioned Spun

High Strength Concrete Pile

이 성 로*

Lee, Seong Lo

강 성 수**

Gang, Sung Soo

ABSTRACT

The experimental study was performed to investigate the effects of centrifugal condition on the segregated layers of materials and the compressive strength of concrete for pretensioned spun high strength concrete (PHC) pile. The considering factors in the test were the centrifugal time and the magnitude of centrifugal force. These factors have been found to have the great influence on the segregation and the concrete strength. The moderate centrifugal condition has to be fitted for the quality assurance in the production of PHC pile, especially to provide the adequate concrete cover over the tendons.

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

회전에 의하여 생기는 원심력을 이용하여 콘크리트를 성형 다짐하는 원심력 철근 콘크리트관은 1820년 오스트레일리아의 Hume 형제가 고안하여 그 이름을 붙여 홉관이라 불리어지고 있다. 이 원심력공법이 1930년대 미국을 통하여 일본에 소개되었고, 이후 일본을 거쳐 우리 나라에 소개된 것은 1945년 이전으로 약 50년의 역사를 갖고 있다. 현재 이 원심력공법은 프리스트레스 원심력 고강도 파일(pretensioned spun high strength concrete pile, PHC pile)을 제작하는데 널리 적용되고 있다.

PHC 파일은 높은 재하능력과 충격저항 그리고 경제성 및 내구성이 우수하지만 제품제작시 프리스트레스 텐던이 적절한 콘크리트 덮개를 확보하여야 하며 엄격한 콘크리트 품질관리가 요구된다. 따라서 파일단면이 시멘트풀, 모르타르 층으로 분리되면 프리스트레스 텐던의 덮개를 충분히 확보하기 어려워 파일의 운반, 야적 및 항타시 발생하는 하중효과에 의해 균열이 발생할 수 있으며, 텐던의 부식을 유발할 수 있다.

본 연구에서는 PHC 파일 제작시 균열발생과 내구성확보에 큰 영향을 미치는 원심조건, 즉 적정의 원심시간 및 원심력과 콘크리트 재료분리의 관계를 실험을 통해 규명하고 결과 분석에 의해 파일의

*정회원, 목포대학교 토목공학과 부교수

**정회원, 목포대학교 토목공학과 석사과정

품질향상 방안을 강구하고자 한다.

1.2 연구내용

프리텐션방식 원심력 콘크리트 파일은 제작, 운반 및 타입과정에서 여러 요인에 의해 균열이 발생할 수 있으며 또한 내구성이 저하될 수 있다. 특히 프리스트레스 텐던이 파일 단면내에 비대칭으로 위치하면 편심응력이 발생하고, 콘크리트 덮개가 부족하면 부착저항 감소와 내구성 저하를 가져온다.

PHC 파일의 원심성형에서 발생하는 콘크리트의 재료분리에 의해 파일 저항단면이 축소되며, 이로 인해 프리스트레스 텐던의 콘크리트덮개가 기준치를 만족하지 못하게 된다. 따라서 본 실험연구에서는 파일의 원심성형시 저속과 고속시간대의 원심력과 원심시간을 변경함으로써 파일의 재료분리 상태와 강도 변화 등을 정리·분석하여 상관관계를 알아내고 최적의 원심조건을 찾는 방법을 정립하였다.

2. 프리텐션방식 원심성형 고강도콘크리트 파일의 실험

2.1 실험계획

KS F 2454 '원심력으로 다져진 콘크리트의 압축강도 시험방법'의 원심력 다짐조건을 통하여 원심성형 실험의 실험요소와 범위를 정하였다. 우선 저속시간대에서 원심력의 크기를 다섯 단계로 변화시켜 이에 대한 재료분리 및 콘크리트 강도의 변화를 알아보고, 재료분리가 적게 발생하면서 콘크리트 강도가 높은 원심력을 저속시간대의 원심력으로 선택한다. 그리고, 저속 원심성형 시간을 다섯 단계로 변화시켜서 최적의 원심성형 시간을 결정한다. 그리고 나서, 저속의 원심력과 성형시간을 고정시킨 후, 고속의 원심력과 원심시간에서도 각각 다섯 단계로 원심성형 조건을 변화시켜 최적의 조건과 재료분리 및 압축강도의 변화 등의 시험결과를 얻어낸다.

2.2 재료 성질

사용시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 혼화제는 D사의 Σ -1000이라는 혼화제를 사용하였으며, 혼화제는 국내 K사의 고성능감수제 POWERCON-100(액상)으로 나프탈렌 셀포네이트 나트륨염계를 사용하였다. 굵은골재는 조립률이 7.21과 비중 2.51, 흡수율 2.04%로 각각 기준치에 적합하였다. 잔골재는 해사로서 염분도 측정에서 0.019%로 시방서 기준치 0.02%를 만족하였고, 조립율은 3.12, 비중은 2.54이며 흡수율은 4.735%로 모두 기준치 범위 내에 들었다
실험에 사용된 콘크리트의 현장배합비는 표1과 같다.

표 1 배합에 쓰여진 콘크리트의 1m³당 중량

%		kgf/m ³					
W/C	S/A	W	C	S	G	혼화제	고성능감수제
24	36	130	540	644	1150	43	9.2

3. 실험 결과

3.1 저속의 원심력 및 원심시간변화에 따른 재료분리층의 변화

원심시간과 원심력의 초기값은 PHC파일의 제작에 쓰는 일반적인 값을 참고로 실험에 임했으며, 원

심 성형 공시체의 직경이 20cm이고 두께는 4cm이다.

저속의 원심력변화 실험에서 이용한 원심시간은 표 2와 같고, 초기 원심력은 표 3과 같다.

표 2. 저속 원심력변화 실험의 원심시간

저속(min)	중속(min)	중고속(min)	고속(min)
3	1	1	5

표 3. 저속 원심력변화 실험의 초기 원심력 크기

저속	중속	중고속	고속
f = 3.506g	f = 6.375g	f = 10.460g	f = 21.915g

저속의 원심력 변화에 따른 재료분리층과 콘크리트 강도에 대한 실험결과를 표4에 정리하였다.

표 4 저속의 원심력변화에 따른 재료분리층과 콘크리트 강도

원심력(f)	두께(cm)	Paste층(%)	Mortar층(%)	P+M층(%)	압축강도(kgf/cm ²)
3.506	4.44	-	-	-	606
3.656	4.44	-	2.1	2.1	609
3.832	4.40	1.2	3.1	4.3	689
4.012	4.39	1.9	6.5	8.4	769
4.172	4.36	2.3	9.4	11.7	766

원심시간의 변화에 대한 실험에서는 저속의 원심력변화 실험에서 최적 값이라고 보여진 f = 4.012g 값을 저속의 원심력 기준 값으로 설정하고 원심성형 시간은 2분 30초에서부터 30초 간격으로 증가시켰다. 저속의 원심시간변화에 따른 실험결과를 표 5에서 정리하였다.

표 5 저속의 원심시간변화에 따른 재료분리층과 콘크리트 강도

원심시간(min)	두께(cm)	Paste층(%)	Mortar층(%)	P+M층(%)	압축강도(kgf/cm ²)
2.50	4.49	2.3	1.9	4.2	573
3.00	4.45	2.3	3.2	5.5	600
3.50	4.38	1.2	5.1	6.3	641
4.00	4.37	3.5	6.4	9.9	647
4.50	4.37	1.2	5.9	7.1	645

3.2 고속의 원심력 및 원심시간변화에 따른 재료분리층의 변화

고속의 원심력 변화에 대한 실험에서는 원심시간은 고정시키고, 원심력의 크기를 초기 20g를 기준으로 1g씩 증가시키면서 원심성형을 하였다. 이때 저속의 원심력은 f=4.012g를 적용하였고, 원심성형 시간은 4분으로 하였다. 고속의 원심력 변화에 따른 재료분리층과 콘크리트 강도에 대한 실험결과를 표6에 정리하였다.

표 6 고속의 원심력 변화에 따른 재료분리층과 콘크리트 강도

원심력(f)	두께(cm)	Paste층(%)	Mortar층(%)	P+M층(%)	압축강도(kgf/cm ²)
20	4.40	-	8.2	8.2	653
21	4.36	2.3	4.6	6.9	696
22	4.38	-	5.7	5.7	745
23	4.40	-	11.4	11.4	757
24	4.38	1.9	22.7	24.6	753

원심시간의 변화에 대한 실험에서는 원심력값은 고속의 원심력변화에 대한 실험에서 최적값이라고 판단되어지는 $f = 22g$ 값을 고속 원심력의 기준값으로 하고 원심성형 시간을 4분을 기준으로 30초씩 증가시켜 실험을 수행하였다. 고속의 원심시간 변화에 따른 재료분리층과 콘크리트 강도에 대한 실험 결과를 표7에 정리하였다.

표 7 고속의 원심시간 변화에 따른 재료분리층과 콘크리트 강도

원심시간(min)	두께(cm)	Paste층(%)	Mortar층(%)	P+M층(%)	압축강도(kgf/cm ²)
4.00	4.41	-	5.5	5.5	647
4.50	4.34	2.3	4.5	6.8	687
5.00	4.38	-	5.7	5.7	745
5.50	4.40	3.5	8.2	11.7	754
6.00	4.38	-	8.5	8.5	720
6.50	4.40	-	10.1	10.1	730

3.3 실험결과 비교분석

본 연구에서 수행한 저속단계의 원심력과 원심시간 변화 및 고속단계의 원심력과 원심성형시간 변화에 대한 실험결과를 비교, 분석하여 정리하면 다음과 같다. 원심력과 원심성형시간에 따른 재료분리층의 두께 변화의 경우 본 실험의 범위에서는 전체적으로 단조변화를 나타내고 있으나, 고속단계의 원심력변화 실험에서는 적정 원심력의 크기(22g)에서 최소값을 나타내고 있고 과도한 원심력에 의한 원심성형은 과도한 재료분리현상을 나타내고 있어 고속단계의 원심력 크기 선정에 주의를 기울일 필요가 있다.

한편, 원심력과 원심성형시간이 증가하면 공시체의 페이스트층과 모르타르층의 두께가 전체적으로 증가하지만 압축강도 또한 일정한 크기까지는 증가하는 유사한 현상을 보였다. 원심성형 콘크리트에서 재료분리층의 형성은 피할 수 없으므로 재료분리층의 두께가 PHC파일의 텐던 또는 보강철근의 부착력과 피복두께 확보를 만족하는 범위내에 드는 경우라면, 파일의 내하능력을 고려하여 적정 원심력을 선정할 때 압축강도의 크기를 우선적으로 고려하여야 한다. 실험에 의하면 원심성형시간보다 원심력의 크기가 압축강도의 증가(율)에 더 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 프리텐션방식 원심력 콘크리트 파일의 균열 발생과 내구성의 저하에 영향을 주는 파일단면의 재료분리층과 콘크리트강도에 대한 최적의 원심력과 원심성형시간을 찾는 실험을 수행하였다. 콘크리트 재료가 균일하고 충실하게 다져지기 위해서는 특히 저속단계의 원심성형이 중요하며, 적정 원심조건을 결정할 때에는 원심성형 콘크리트에서 재료분리층의 형성은 피할 수 없으므로 재료분리층 두께를 허용범위내에 들도록 하면서 파일의 내하능력을 고려하여 콘크리트의 압축강도가 확보되도록 주의를 기울여야 함을 알 수 있다.

실험결과에 의하면, 재료분리는 파일의 강도에 큰 영향을 주지는 않으나 PHC 파일의 경우 프리스트레싱 텐던의 피복두께 감소로 인해 부착력 감소, 텐던 주변의 종균열 발생, 내구성저하를 가져오고 또한, 텐던의 처짐, 비대칭 배치에 의해 불필요한 응력발생시 횡균열 발생이 가능하므로 재료분리가 적은 최적의 원심력, 원심시간결정은 중요한 것으로 보인다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, “최신 콘크리트공학” 한국콘크리트학회, 1997, pp.78-82
2. 西林外, “遠心力 め固め 効果に關する研究” セメント技術情報 21, 1976, pp. 415~419
3. 정재동, 김원기, 정용, 김진철, 유택준, “프리스트레스드 콘크리트파일의 제조와 물성에 관한 연구(I)-콘크리트 파일의 원심성형에 미치는 각 요인의 영향”, 콘크리트 학회, 1992년도 가을 학술발표회 논문집
4. 정재동, 김원기, “콘크리트 공장제품 개발동향 및 생산현황 - 국내 콘크리트 공장제품의 개발동향”, 콘크리트학회지, v.8, n.1, 1996. 2, pp.7-15
5. 류천, “콘크리트 공장제품 개발동향 및 생산현황 -원심력콘크리트공장제품의 제조공법과 생산현황”, 콘크리트학회지, v.8, n.1, 1996. 2, pp.29-35
6. 정용, “프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트 파일” 콘크리트학회지, v.6, n.6, 1994. 12, pp.35-41
7. 신현묵, “프리스트레스콘크리트(제3판)”, 1997, pp.7-227
8. KS F 4036 (프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트말뚝), 1998
9. KS F 4403 (원심력 철근 콘크리트관), 1996
10. KS F 2454(원심력으로 다져진 콘크리트의 압축강도 시험방법), 1996
11. 문한영, “건설재료학”, 1999, pp38-92