

플라이애쉬 시멘트 모르터를 사용한 비탈형 영구거푸집 개발에 관한 실험적연구

An Experimental Study on The Development of Fly-ash Cement Mortal Permanent

김 형 남^{*} 김 우 재^{**} 김 성 식^{**} 김 영 회^{***} 정 상 진^{****}
Kim Hyung Nam Kim Woo Jae Kim Sung Sik Kim Young Hoi Jung Sang Jin

ABSTRACT

According to results of this research Fly-ash Cement permanent-form production was found to be possible by fly-ash mortal. The compress strength 350kg/cm², banding strength 120kg/cm² were possible material separating and bleeding by excessive W/C rate was decreased permanent-form made by polymer solved high price of polymer by fly-ash. Model material was made by result of first research. There were no minute-crack on beam form and out surface of form was very smooth, So filling degree seemed desirable length of form after steaming curing was maintained as expected. with these results production of form seemed possible. In the banding load test, fly-ash showed increase of maxim load 12% than RC. in the case of minute-crack, comparing with RC, fly-ash showed no crack at connect. at the first stage under continuing loading size of crack increased. These phenomena seemed to be based on contribution of stress of inner bars in permanent-form. in the test of defection, fly-ash shower about 10% beam load increase than RC. in the case of beam defection, RC showed sudden decrease of tolerance at maxim load and total breaking, but permanent-form showed breaking of bending maintaining defection with contribution of steel stress(Ø6 wire-mesh). There phenomonic seemed to be attributed to increase of surface and steel tolerance of form. According to construction explaceaion, it was guessed that each panel was constructed by conner-steels in form edge. so cohesiveness was small. on these bases. keeping width of horizontal band 30cm, form-panel of 20mm width was found to be of use. Permanent-form was found to be efficient in compressiblensness, defection, safety and use of Fly-ash mortal.

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

건설산업의 거푸집 기술 개발은 건설공사의 시공기술에 많은 영향을 미치고 있다. 최근 사회적으로 3D 업종의 기피현상에 따른 철근공, 거푸집공 등의 기능노동자의 부족, 고령화, 외국인노동자 고용현상과 낮은 노동생산성은 건설업계의 심각한 현안이다. 과거에는 재료비의 비중이 높았으므로 재료의 낭비를 줄이기 위한 합리화가 추진되었지만, 요즘은 노무비 비율의 급격한 증대로 인하여 공기단축이나 합리화, 시스템화를 통해서 경쟁에서 생존해 나가고 있다. 또한 지구 온실효과 역제를 위한 열대목재 벌목의 규제와 이에 따른 목재비 및 가공품의 비용이 상승되었다. 따라서 건식공법에 의한 공기단축, 인력절감, 코스트절감, 소음 진동저감, 자연보호를 목표로한 비탈형 영구 거푸집(이하 영구 거푸집이라 표기함)의 개발이 꼭 필요할 것으로 사료된다. 따라서, 본 연구는 플라이애쉬 시멘트 모르터(플라이애쉬를 시멘트량의 20% 치환)를 사용하여 영구거푸집을 제작함으로써 생산비용을 절감시키고, 산업부산물을 재활용함으로써 영구거푸집을 개발하기 위한 실험이다.

- * 정회원, 단국대 건축공학과 대학원 석사과정
- ** 정회원, 단국대 건축공학과 대학원 박사과정
- *** 정회원, 인천전문대 건축공학과 교수
- ****정회원, 단국대 건축공학과 부교수,공학박사

1.2 연구 내용 및 범위

본 연구는 영구거푸집용 모르터의 물성에 관한 연구 및 영구거푸집의 구조실험을 실시하였다. 모르터의 물성에 관한 연구는 굳지않은 모르터의 성질을 규명하기 위하여 PC그라우시팅시험, 깔대기유하시험, 슬럼프 플로우시험, L형플로우시험을 실시하였고, 굳은 모르터의 성질을 규명하기 위하여 내충격성, 길이변화, SEM, 압축강도, 휨강도 등을 조사하여 이 결과를 비교 분석하였다. 또한 모르터의 물성 실험 결과로 실물크기의 보 영구거푸집을 제작하여 구조실험을 실시하였다.

1.3 영구거푸집용 모르터의 목표 품질

영구거푸집 시공성 및 콘크리트 축압과 운반시 충격을 견디기 위한 목표 품질의 기준을 표 1.에 나타내었다.

표 1.모르터의 목표 품질

시험항목	목표치	비고
PC 그라우팅시험	22±3초	시공성을 고려
L형 플로우 시험	15cm	
슬럼프 플로우시험	57±2cm	
깔대기 유하시험	0.9~1.1	
압축강도	300kg/cm ²	재령 28일(4×4×16cm)
휨 강도	120kg/cm ²	재령 28일(4×4×16cm)
내충격성	30 회	재령 28일 (10×10×40cm)

표 2. 유리섬유의 성질

비중	Tensile ₃ psi×10 ³	Tensile Mod psi×10 ⁶	Flex. psi×10 ³	Flex. Mod psi×10 ⁹
2.6	5.9	2.18	17.85	2.02

표 3. 플라이애쉬의 물리적 성질

생산지	보령F급	KS규격
강열감량(%)	3.75	5이하
단위수량비(%)	100	102이하
분말도 (cm ² /g)	3,206	2,400이상
비중	2.18	1.95이상
SiO ₂	59.7	45이상
압축강도비	95	60이상
습분(%)	0.11	1이하

표 4. 비탈형 영구거푸집 모르터 기준 배합표

(단위: kg/m³)

종류	시멘트 (C)	세골재 (S)	플라이애쉬 (F)	물 (W)	섬유 (FI)	혼화제 (A)
플라이 애쉬	566	1051	142	303	26	10

2. 모르터 실험

2.1 사용재료

- (1)시멘트: 국내산 S사의 보통 포틀랜드시멘트 (2)잔골재 :강모래, 비중 2.58, 조립률 2.88인 충부
(3)물 : 상수도수 부용산 최대크기 5mm입도 조정함.
(4)유리섬유 : 내알카리유리섬유, 참고 (표.2) (5)플라이애쉬 : 보령산 F급 참고 (표.3)

2.2 모르터의 배합 계획

유리섬유와 플라이애쉬를 혼입한 모르터의 물멘트비(W/C)는 40%로 하였으며, 플라이애쉬를 시멘트량의 0% 5% 10% 15% 20%로 치환하고, 골재는 강모래를 사용하였다. 유리섬유 혼입률은 체적 치환비 1 %로 혼입 하였다.

2.3. 시험방법

굳지않은 모르터시험중 PC 그라우팅시험은 모르터의 점성과 유동성을 조사는 실험으로(JSCE - F 531)에 의거하여 실험하였다. L형 플로우 시험은 모르터의 유동성과 점성을 조사하는 시험방법으로, 모르터의 퍼지는 길이, 속도, 시험기에서 줄어든 높이를 측정하여서 모르터의 유동성을 검토하였다. 슬럼프 플로우 시험(KS F 2402)에 의거하여 실험하였다. 깔대기 유하시험은 모르터의 유하시간과 속도를 조사하여 모르터의 성질 중 점성을 평가하였다. 굳은 모르터시험 중 압축강도 및 휨 강도는 (KS F 2405, 2423)에 의거 7, 14, 28일 재령에 대하여 실시하였고, 길이변화실험은 (KS F 2424)의거하여 실험을 실시하였다. 내충격시험은 공시체(10×10×40 cm)를 강구낙하(鋼球落下法)으로 지간을 30cm로 고

정해두고 공시체 상단을 중량 6.62kg의 강재추로 높이 15cm에서 낙하시켜 파괴에 도달하는 횡수를 측정한다. 또한 내부조직의 수화양상을 살펴보기 위하여 SEM사진을 촬영하여 검토하였다.

2.4 실험결과 및 고찰

2.4.1 영구거푸집 제작용 모르터의 유동성실험

본 연구는 영구거푸집 제작 위한 모르터의 물성을 확보하기 위한 실험으로 적정유동성 및 점성을 확보하여야 한다. 그림 1.은 L형 플로우실험과 깔대기 유하시험을 비교하였으며, 실험결과 플라이애쉬를 혼입한 모르터의 유동성이 양호하게 나타났다. L형 플로우실험의 침하량이 증가할수록 깔대기 유하시험의 속도비가 증가하는 것으로 나타났으며, 이것은 플라이애쉬 입형이 구형이므로 골재와의 접촉면에서 볼-베어링과 같은 작용을 하여 마찰저항을 줄여 주는 역할을 하여 유동성이 양호하게 나타났다고 사료된다.

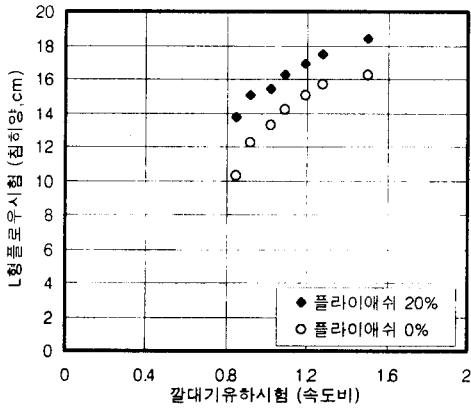


그림 1. L형플로우 및 깔대기유하시험의 유동성변화

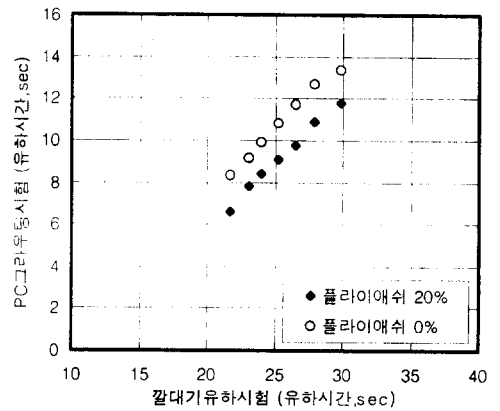


그림 2. PC그라우팅시험 및 깔대기유하시험

그림 2.는 PC그라우팅시험과 깔대기유하시험을 비교하였다. 본 실험에서도 플라이애쉬를 혼입한 모르터의 워커빌리티 및 점성이 양호한 것으로 나타났고, PC그라우팅시험의 유하시간이 증가할수록, 깔대기유하시험의 유하시간도 증가하는 경향이 나타났다. 또한 플라이애쉬를 사용한 모르터가 블리딩 및 재료분리가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 매트릭스 내부 잔골재 사이의 공극을 플라이애쉬 미립분이 채워줌으로 상승수의 통로를 차단했기때문으로 사료된다.

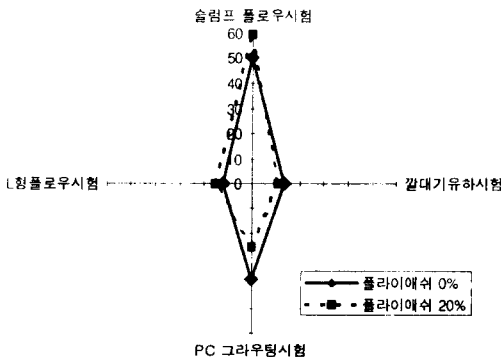


그림 3. 플라이애쉬 모르터의 유동성 관계

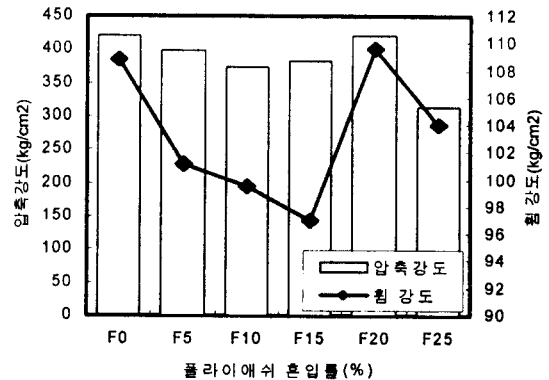


그림 4. 플라이애쉬 모르터의 압축·휨 강도

슬럼프플로우 시험에서 플라이애쉬가 혼입되면 유동성의 증가로 퍼짐길이가 늘어나고, 깔대기유하

시험에서는 점성의 감소로 유하시간이 감소하고 있다.(참고,그림 3.) PC그라우팅 시험에서는 유동성의 증가로 유하시간이 감소하고, L형 플로우시험에서는 충전성이 증가하는 경향이 나타났다.

2.4.2 연구거푸집 제작용 모르터의 강도실험

본 연구에서 사용된 플라이애쉬 모르터의 강도발현을 검토하면 초기재령에서는 압축·휨강도가 플라이애쉬를 혼입하지 않은 모르터보다 강도가 낮게 발현되었다. 하지만 플라이애쉬 시험체의 28일 강도에서는 현저한 증가를 나타내고 있다.(참고, 그림4) 이는 시멘트수화물인 수산화칼슘이 플라이애쉬의 가용성 실리카 및 알루미늄과 화합하여 규산화석회 및 알루미늄산 삼석회등의 수산화물을 생성하여 이들이 장기강도 증진에 역할을 하기 때문으로 사료된다. 또한 기존 연구에 따르면 플라이애쉬 콘크리트는 50%까지 강도증진을 나타내고 있다고 보고되고 있다.

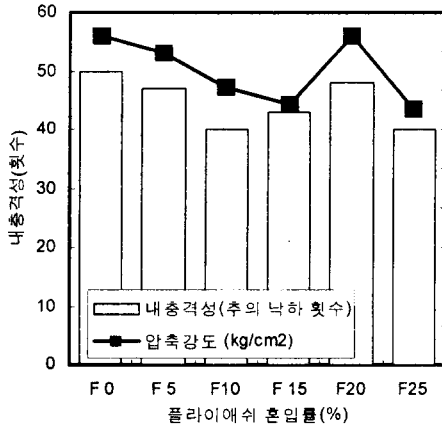


그림 5. 플라이애쉬 모르터의 압축·내충격성 실험

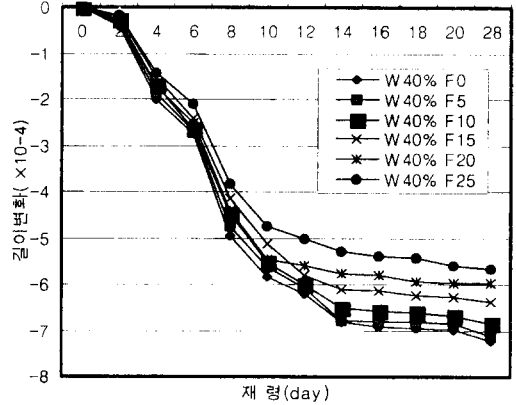


그림 6. 플라이애쉬 모르터의 길이변화 실험

내충격시험과 압축강도를 비교하면 (참고, 그림 5.) 압축강도와 내충격성은 같은 경향을 보이고 있으며, 내충격성시험 결과 플라이애쉬혼입률이 증가하면 내충격성은 감소되나 혼입률 20%에서는 혼입률 0%와 같은 수준으로 나타났다.

2.4.3 모르터의 길이변화실험

연구거푸집용 모르터의 길이변화실험결과 플라이애쉬 혼입률이 증가할수록 길이변화가 감소하는 경향을 나타냈으며, 이는 플라이애쉬의 사용으로 단위수량이 감소되는 효과와 모르터 내부의 매트릭스를 유리섬유가 건조수축을 저항하는 변형억제효과 때문으로 사료된다.



사진 1 . SEM (플라이애쉬 20% 혼입, 500배)



사진 2 . SEM (플라이애쉬 20% 혼입, 2000배)

2.4.4 SEM

시멘트 모르타에 플라이애쉬를 혼입하여 SEM을 촬영하여 형상을 분석한, 사진 1. 과 사진 2.을 참조하면 시멘트 페이스트간의 계면이 명확하게 구분됨을 알 수 있었다. 사진1에서는 유리섬유가내부 매트릭스를 결합시켜 길이변화 및 내구성에도 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한 플라이애쉬 입자가 둥근 구형의 형태를 보였고, 이는 불-베어링효과를 발휘하여 유동성 및 워커빌리티를 좋게하는 것으로 나타났다. 사진 2.는 플라이애쉬가 시멘트와 알카리 반응을 하는 것으로 나타났다. 수산화칼슘이 플라이애쉬의 가용성 실리카 및 알루미늄과 화합하여 수산화물을 생성하여 장기강도 증진영향을 주는 것으로 나타났다.

3. 구조실험

3.1 구조실험 계획

본 실험은 영구 거푸집 보의 역학적 성능을 평가하였다. 시험체로는 플라이애쉬를 사용한 영구 거푸집 시험체와 기존 RC시험체의 비교를 통해 영구 거푸집의 안정성 및 사용성을 확인하고, 영구거푸집의 최대 하중에 대한 변형을 조사하였다. 실험항목으로는 최대하중조사, 균열 형태조사, 철근의 변형관계를 조사하였다.

3.2 시험체가력 및 측정방법

보 시험체는 30ton 오일잭을 사용하여 가력하였다. 보 시험체는 중앙점 가력형식으로 가력하여 시험체가 파괴할때까지 재하하였다. 시험도중에는 철근의 변형을 Wire Strain Gauge를 부착하여 TDS-601로 측정하였고 시험체 변위는 가력점 하단부 중앙에 설치한 1/1000mm 전기식 변이계로 처짐을 조사하였다

표 5. 보 시험체 개요 (단위:cm)

시험체명	B - R	B - N
단면	30×50	30×50
길이	300	300
피복	3	3
주 근	철근	압축: 2-D19 인장: 3-D19
	fy	2400kg/cm ²
띠 철근	철근	D10 @150
	fy	2400kg/cm ²
fc	210kg/cm ²	
시험체설명	B:보, R:RC, N:플라이애쉬	

표 6. 보 휨 시험 결과

시험체	초기 균열	실제 하중	최대 하중	비율	시험체명
B - R	6.4t	14.5	25.5t	1	B: 보 R: RC 시험체 N: 플라이애쉬 시험체
B - N	7.7t	14.5	27.5t	1.08	

3.3 실험결과 및 고찰

3.3.1 보 시험체의 파괴상황

2가지 시험체에 하중을 가하면 B-R 시험체는 최대 휨모멘트를 받는 영역에서 최대하중의 25%인 6.4t에서 초기균열이 발생하였고, B-N 시험체는 최대하중의 28%인 7.7t에서 초기균열이 발생하였다. 균열 양상은 사인장 균열이 발생하지 않고 보 밑면을 관통하는 전형적인 휨 균열의 양상을 보였다.(참고, 표6. 사진3.)

3.3.2 보의 하중과 변위 관계

탄성 범위에서는 2가지 시험체가 비슷한 양상을 보이고 있으나, B-N 시험체는 B-R 시험체보다 최대하중이 10% 증가하는 양상을 보이고 있다. B-R 시험체는 최대하중의 82~85%범위인 19~21t에서 초기항복이 발생하였고 B-N 시험체의 경우 최대하중의 90~95%인 24~27t에서 초기항복이 발생하였다. (참고 그림7) 이는 영구거푸집으로 둘러싸인 시험체의 영구거푸집으로 인한 단면적의 증대 및 거푸집 내부의 철근(Wire mesh D6@200)으로 내력이 증가한 것으로 사료된다. 휨 시험 결과 RC 시험체는 25.5ton에서 파괴하중을 보였고, 초기균열하중은 6.4 ton에서 나타났다. 또한 변위 측정(LVDT) 결

과 21.4mm의 변위를 보였다. 플라이애쉬 시험체는 27.5ton에서 파괴하중을 보였고, 초기균열하중은 7.7 ton에서 나타났다. 또한 변위 측정(LVDT) 결과 14.1mm의 변위를 보였다. (참고,그림7)

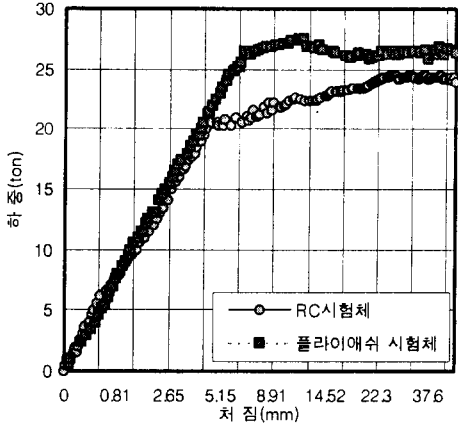


그림 7. 하중-처짐 곡선

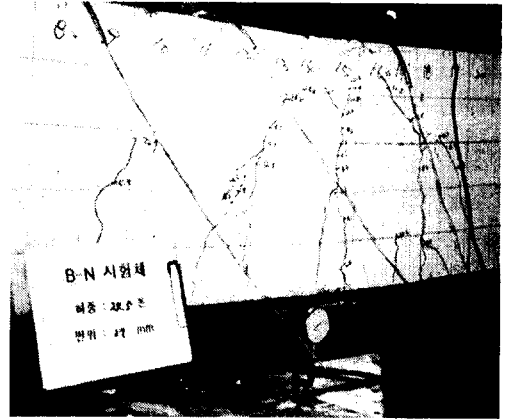


사진 3. 영구거푸집 보시시험체 균열 형태

4. 결론

본 연구는 거푸집공사의 합리화의 일환으로 영구거푸집을 실용화 시키기 위한 연구로서, 영구거푸집을 플라이애쉬 모르타르로 제작하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 굳지 않은 모르타르의 성질을 조사한 결과 적정 플라이애쉬를 혼입한 모르타르는 유동성 및 점성이 양호하게 나타났다.
- (2) 굳은 모르타르의 성질중 플라이애쉬를 혼입한 시험체의 압축·휨강도는 적정기준치를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 길이변화 및 내충격성에서도 양호하게 나타났다.
- (3) SEM사진으로 시멘트의 수화와 플라이애쉬입자의 수화가 진행하는 것을 발견 하였다. 또한 플라이애쉬 구형입자가 불-베어링 효과를 발휘하여 유동성 및 워커빌리티에 영향을 주는 것으로 나타났다.
- (3) 보 시험체의 구조실험에서는 일반 RC 시험체보다 플라이애쉬 시험체의 최대하중이 약 10% 증가하는 경향을 보였다.
- (4) 보의 처짐은 영구 거푸집 시험체의 내부의 주근이 응력을 부담하면서 일정한 내력을 유지한채 처짐만 계속발생하는 휨파괴를 보였다. 이는 영구 거푸집으로 인한 단면적의 증가 및 거푸집 내부의 철근으로 내력이 증가한 것으로 사료된다.

이상의 결과에서 플라이애쉬를 혼입한 영구 거푸집도 우수한 성능을 발휘하는 것으로 나타났으며, 부재로 쓰일 경우 안정성 및 사용성이 있음을 확인 할 수 있었다.

參考文獻

1. V.Sivasundaram and V.M Malhotar, Fly Ash in Concrete, CANMET Canada,1987
2. 万木正弘, 永久型用材料としての高強度モルタルの諸性質, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol 17,1995
3. 정상진, 안용선, 거푸집 공사의 시공 및 재료, 콘크리트학회지 1995.8
4. 대한 건축학회, 극한강도 설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계기준 및 해설, 기문당
5. 정상진, 김우재, 비탈형 영구거푸집용 모르타르의 물성에 관한 실험적연구, 대한건축학회 논문집, 1998.7
6. 정상진, 김우재, RC 건축에 있어서 비탈형 영구거푸집의 시공적용 예, 한일시공기술세미나, 대한건축학회, 1999. 2