

# 복합 압출성형 무기소재 wall spacer의 고강도화

이 대 경\*, 조 홍 준\*\*, 박 춘 근\*\*\*

\* 천지건설 연구개발 실장, \*\* 천지건설 대표이사,

\*\*\* 한국생산기술연구원 수석연구원

## 1. 연구의 배경 및 목적

철근보강 콘크리트 구조는 우리생활에 가장 밀접하고 없어서는 안될 중요한 구조체로 문명의 발달과 함께 발전을 거듭하여 왔다. 철근보강 콘크리트는 잘 알려진 바와 같이 철근과 콘크리트의 장점을 접목하여 구성한 매우 우수한 복합 재료의 구조시스템이다. 철근은 콘크리트의 취약점인 인성과 취성을 보완할 수 있도록 설계하여 보강 배치되며, 그림 1에서 보는 바와 같이 철근의 내구수명 확보에 콘크리트는 중요한 역할을 한다.

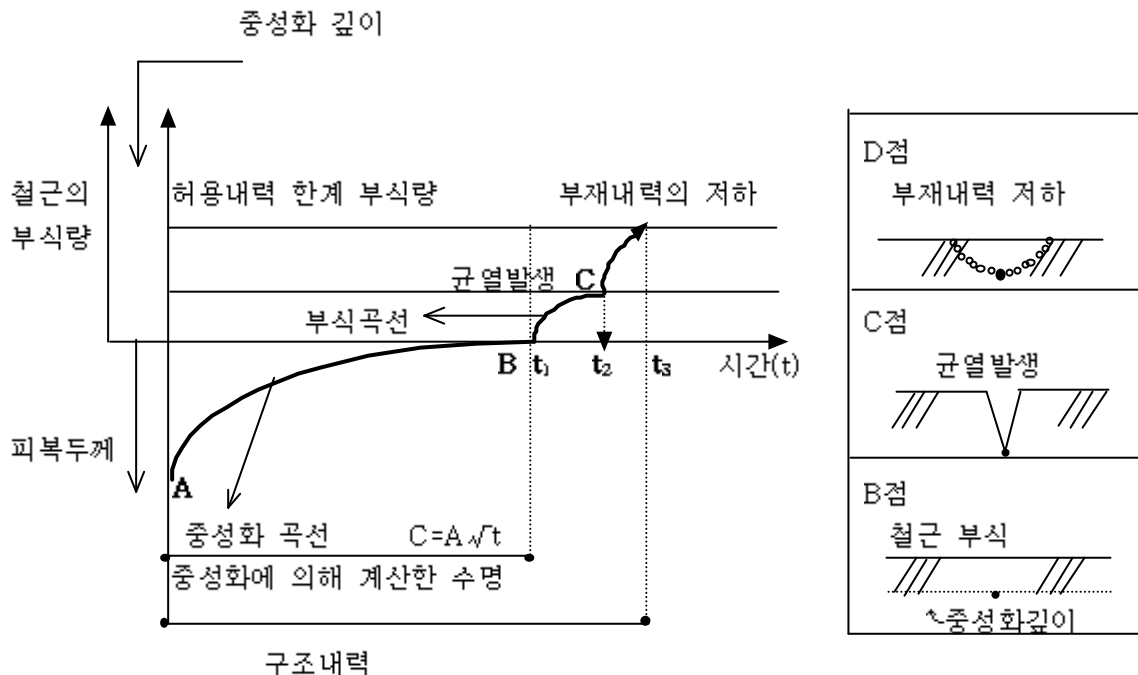


그림 1. 콘크리트 중성화와 철근부식에 의한 RC 구조물의 내용연구의 개념

그러므로 철근 보강 콘크리트의 부재에서 철근의 위치는 매우 중요하며, 철근의 위치가 설계대로 바르게 되어야만 철근콘크리트 구조체가 구조적 성능뿐만 아니라 내구적 성능을 초기 구조 설계대로 확보할 수 있다.

철근의 위치를 설계대로 유지하기 위하여 사용되는 것으로 스페이서가 있다. 스페이서는 철근과 거푸집 또는 철근과 철근의 간격을 유지하기 위하여 사용하는 것으로 구조체의 기계적 및 공학적 특성을 발현하게 하여 구조체의 내구성에 영향을 주는 매우 중요한 기능을 담당하고 있다. 이와 같은 이유로 국내의 주요시방서 즉, 주택공사 및 콘크리트 표준 시방서 등에서는 토목건축물의 콘크리트 피복두께를 규정하고 있다.

스페이서의 재료적 성질은 경화된 콘크리트와 동일한 것이 이상적이다. 그러므로 콘크리트계 재료로 만들어진 것이 가장 적절하며, 가능하면 주변 콘크리트와 동일한 수준 이상의

강도를 갖는 것을 사용하는 것이 바람직하다.

강재를 사용할 경우에는 강재의 부식에 유념하여야 하며, 플라스틱의 경우에는 그 강도의 적절성을 판단하여야 한다. 또한 자갈을 사용하는 것은 타설시 이동 가능성이 있으므로 피하여야 하며, 벽돌류를 사용하는 것 또한 그 강도가 구조체의 강도에 미치지 못하기 때문에 적정하지 않다.

국내 건설현장에서 사용되고 있는 현황은 크게 바닥용 스페이서와 벽체용 스페이서로 구분되는데, 바닥용은 콘크리트의 동빌 재료로써의 잇점 때문에 토목·건축 현장에서 그 사용량이 다른 재질의 스페이서 보다도 더욱더 보편화 되어가고 있다. 그러나 벽체용 콘크리트 스페이서의 경우에는 벽체에 배근된 철근에 스페이서를 체결하는 문제 및 성형성과 충분한 강도발현이 어려워 콘크리트와 다른 고분자재료가 사용되어 지고 있다.

본 연구에서는 고속철도 및 고강도 구조물 등의 고품질 구조체의 건설을 위하여 압출성형 방식으로 압출성형방법으로 고강도를 발현하는 복합 무기소재를 개발하여 벽체용 스페이서의 소재로 활용하는 연구를 수행하였다. 즉, 고내구성 토목·건축물의 구조체 강도 이상을 발현하는 고강도 Wall Spacer를 개발하기 위하여 적절한 조합원료의 선정과 수준을 결정하고, 압출공정 기술을 보완한 최적의 조건으로 압축강도 400kgf/cm<sup>2</sup>이상의 고강도 Wall Spacer 소재를 개발하였다..

## 2. 고강도 Wall Spacer를 제조하기 위한 복합무기소재의 개발

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같이 실험요인에 따라 양생조건별로 측정재령 1, 3, 7일 에서 압축강도를 측정하고 그에 따라 최적의 조건을 도출하였다. 표 1에서 보는 바와 같이 먼저 결합재인 분체량에 대한 최적의 조건을 검토하고, 제품의 경제성과 품질의 향상을 위한 무기소재의 종류별 수준에 따라 제품의 고강도화에 미치는 영향성도 아울러 검토하였다. 또한 압출성형기에 의해 제조되는 제품의 점성을 높이기 위해 증점제인 MC의 적정 사용범위를 찾고 제품의 공극 충전 효과를 극대화시키기 위하여 Filler로 사용되는 Silica와 규사분을 적정비율에 따라 KS F 2312에 의거하여 흄다짐 실험을 하고 그 결과를 바탕으로 최적의 비율조건을 도출하고자 한다.

표 1. 실험계획

NO.	실험요인	분체량(kg/m <sup>3</sup> )	측정항목	측정재령	비고
1	분체량	800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400	압축강도	1, 3, 7일	기건양생
2	시멘트 혼합재(1), (2)	1200	압축강도	1, 3	증기양생 기건양생
3	고로슬래그	0, 120, 240, 360	압축강도	1, 3, 7	증기양생
4	플라이애쉬	0, 120, 240, 360	압축강도	1, 3, 7	증기양생
5	시멘트 혼합재(3)	0, 120, 240, 360	압축강도	1, 3, 7	증기양생 기건양생
6	시멘트 혼합재(2)	0, 60, 90, 120	압축강도	1, 3, 7	증기양생
7	MC	1, 1.5, 2, 2.5	압축강도	1, 3, 7	증기양생
8	규사분	0:10, 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2, 9:1, 10:0	단위용적중량 (g/l)	-	-
9	규사분	4:6, 5:5	압축강도	1, 3, 7	증기양생

주) 시멘트혼합재 : (1) 실리카계 혼합재 (2) 플라이애쉬계 (3)CSA계 혼합재

## 2.2 사용재료

### ① 시멘트

본 연구에서 사용된 시멘트는 국내 H사에서 생산된 KS L 5201에 만족하는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 화학조성은 표 2와 같다.

표 2. 보통 포틀랜드 시멘트의 화학성분

SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	LOI(%)
21.5	61.7	5.6	3.2	2.4	2.4	1.4

### ② 고로슬래그

본 연구에서 사용한 고로슬래그는 국내 S사에서 생산된 제품으로, 슬래그의 화학조성은 표 3과 같고, Blaine 비표면적은 4,200 cm<sup>2</sup>/g이다.

표 3. 고로슬래그의 화학성분

SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	S	MnO	TiO <sub>2</sub>
33.4	41	14.5	0.4	6	1	0.7	-

### ③ 플라이애쉬

플라이 애쉬는 보령화력에서 발생된 정제된 플라이 애쉬로 Blaine 비표면적이 3,200 cm<sup>2</sup>/g 이었으며, 화학조성은 표 4와 같다.

표 4. 플라이 애쉬의 화학성분

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	LOI(%)	비중
71.9	17.5	2.4	0.5	0.7	0.6	2.5	2.1

### ④ Clay

본 연구에서 사용된 규석분은 충북 금평산 규석분으로 분말도는 Blaine 3,100 cm<sup>2</sup>/g 이었으며, 주요 성분은 표 5와 같다.

표 5. Clay의 화학성분

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
94.4	2.6	0.8

### ⑤ MC

배합 페이스트의 유동성을 부여하기 위한 첨가제로는 일반적으로 백색 미분말 상태의 Hydroxy Propyl Methyl Cellulose(HPMC)나 Hydroxy Ethyl Methyl Cellulose(HEMC), Ethyl Hydroxy Ethyl Cellulose(EHEC)를 사용하며, 통상 줄여서 MC라고 부른다.

본 연구에서 사용된 MC는 평균점도 40,000의 HPMC-40u를 사용하였다.

⑥ 시멘트 혼합재(1)

시멘트 혼합재(1)는 비정질 Silica를 주성분으로 하는 Silica Fume를 사용하였으며 그 화학 조성은 표 6과 같다.

표 6. 시멘트 혼합재(1)의 화학성분

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	LOI
97.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0	0.4	0.1	-

⑦ 시멘트 혼합재(2)

콘크리트 2차제품 제조시 고강도 발현을 목적으로 사용되는 상품으로 국내 D사의 제품을 사용하였으며 그 화학 조성은 표 7과 같다.

표 7. 시멘트 혼합재(2)의 화학성분

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	LOI
17.3	0.4	34.3	0.3	0.3	47.1	0.1		1.9

⑧ 시멘트 혼합재(3)

콘크리트 2차제품 제조시 시멘트 대체용으로 사용되는 혼합재로서 국내 Y사의 제품을 사용하였으며 그 화학 조성은 표 8과 같다.

표 8. 시멘트 혼합재(3)의 화학성분

SiO <sub>2</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	비중
32.5	20.3	13.2	2.3

## 2.3 시험방법

비빔 및 성형은 시험체의 제작순서를 나타낸 그림 2와 같이 건비빔 2분후 가수하여 3분 비빔하고, 사진 1의 압출성형기 중앙부 재료 투입구에 투입하여 그림 3의 압출성형기 내부의 장치구조에 의해 제품을 압출하여 제작하였다.

제품의 양생은 현장제작 조건에 맞추기 위하여 그림 4과 같이 전치양생 4시간과 증기양생 20시간을 행한후 기건상태에서 시험재령까지 보관하였다. 증기양생시의 온도 상승속도는 1 0℃/h로 하고 80℃에 다다른 후에는 양생조내에서 서냉하였다.

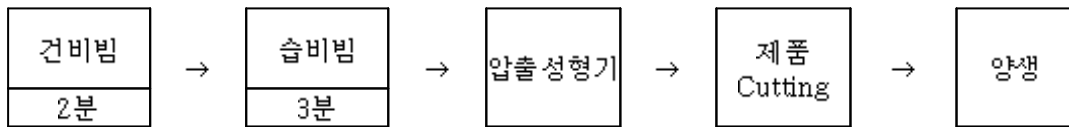


그림 2. 제품의 제작순서

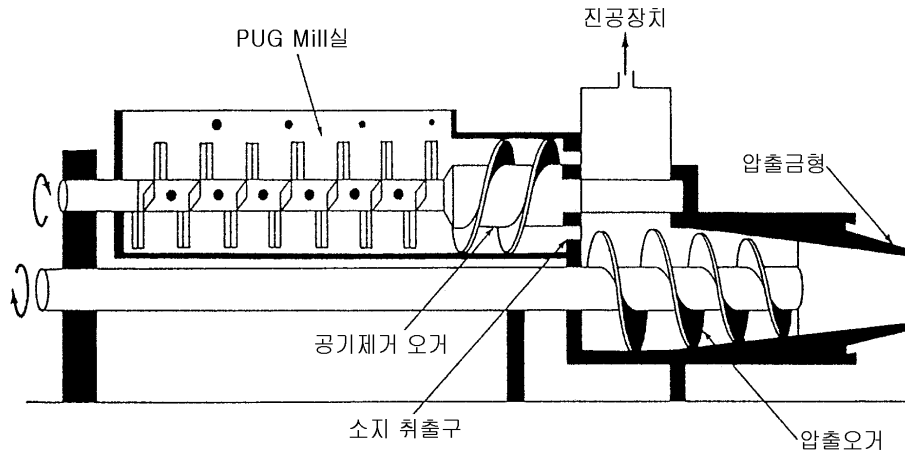


그림 3. 진공압출성형장치 의 내부도



사진 1 압출성형기

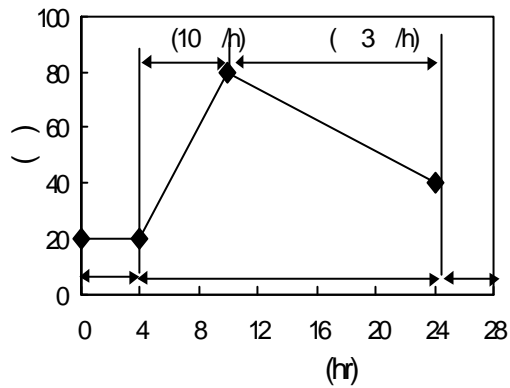


그림 4. 시험체의 양생방법

## 2.4 실험결과 및 분석

### 2.4.1 단위 용적당 수경성 원료의 분체량 특성 실험

본 연구의 실험결과는 그림 5와 같다. 그림 5에서 보는 바와 같이 재령 1, 3일에서는 분체량이 증가함에 따라 압축강도의 발현이 높아진다. 재령 3일에서는 분체량 1200에서 압축강도가 낮아지고 1400까지 다시 증가되는 것을 볼 수 있다.

또한 분체량 1300~1400까지는 재령 7일을 기준으로 살펴볼 때 압축강도가 200kgf/cm<sup>2</sup>이상의 좋은 강도를 보였으나 제품의 경제성과 품질의 향상을 기대할 때 분체량 1200이 가장 적합할 것으로 사료된다.

따라서 분체량 1200에서 압출성형 제품에 최적합 반응성을 가지는 재료의 선택과 양생의 조건을 변화시켜 1일 압축강도 300kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 고품질 제품을 생산하는 것이 소비자 보급에 용이할 것으로 사료된다.

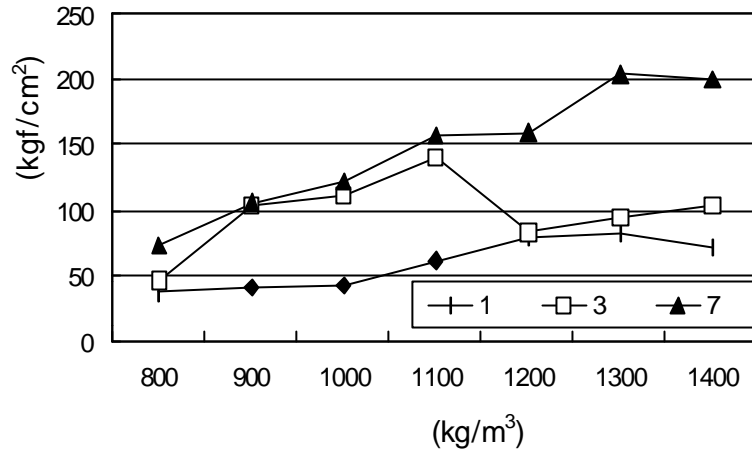


그림 5. 분체량에 따른 재령별 압축강도

#### 2.4.2 시멘트 혼합재의 고강도 발현특성 실험

본 연구의 실험결과 는 그림 6과 같다. 그림 6에서 보는 바와 같이 시멘트 혼화재 종류별 로 재령에 따른 압축강도는 증가하였다.

양생조건별로 시멘트 혼화재(1) 과 혼화재(2) 을 비교해 볼 때 재령에 관계없이 혼화재(2) 를 사용한 시험체가 혼화재(1)을 사용한 시험체보다 높은 압축강도를 보이고 있었다.

증기양생에서는 혼합재(2)의 시험체가 혼화재(1)의 시험체보다 100kgf/cm<sup>2</sup>이상 높은 압축강도를 보였다.

또한 재령 3일의 증기양생에서 혼화재(2)를 사용한 시험체의 압축강도가 300kgf/cm<sup>2</sup>이상의 고강도화를 보이고 있어 압출성형 제품에 사용되는 재료와 최적 양생조건을 검토하면 경제성이 높은 고품질의 제품을 소비자에게 보급할 수 있을 것으로 사료된다.

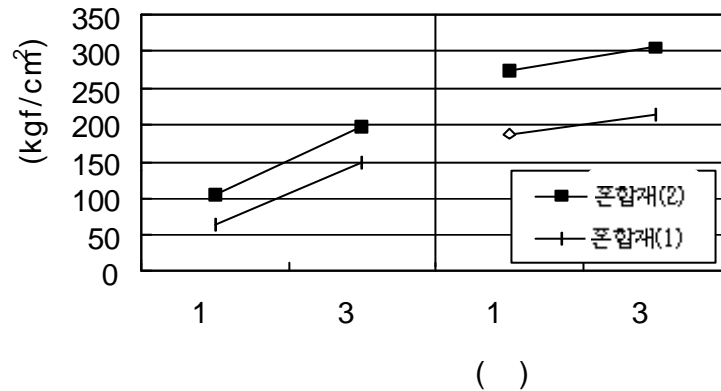


그림 6. 양생조건별 시멘트 혼화재 종류에 따른 재령별 압축강도

#### 2.4.3 고로슬래그 대체율에 따른 압축강도 발현특성 실험

본 연구의 실험결과는 그림 7과 같다. 그림 7에서 보는 바와 같이 재령이 지나면서 고로슬래그 대체율 0에서 30%까지 10%를 제외하고는 시험체의 압축강도가 대체적으로 증가하

고 있다.

재령별 강도 발현 현상은 재령 1일에서 고로슬래그 대체율이 증가하면서 다소 강도가 저하하는 경향이 있으나 재령 3, 7에서는 고로슬래그 0%와 30%가 거의 유사하다.

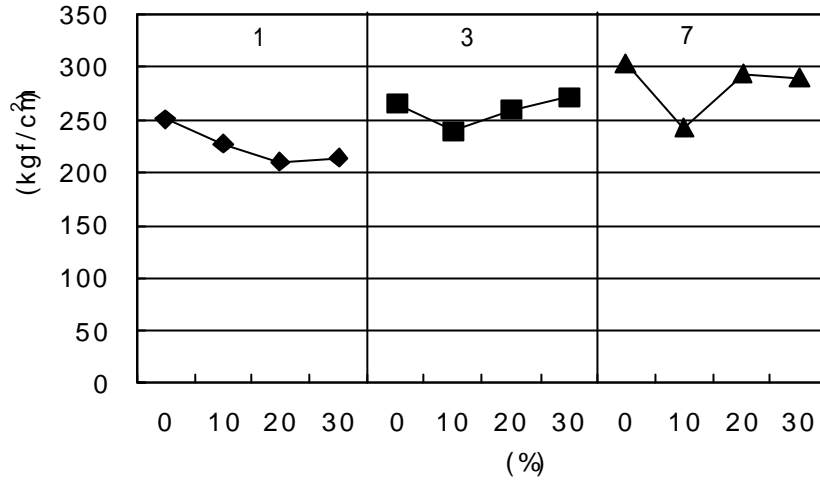


그림 7. 고로슬래그 대체율에 따른 압축강도

이는 시멘트 대체재로서 고로슬래그를 30%까지 사용할 수 있는 가능성을 보여주고 있다.

#### 2.4.4 플라이 애쉬 대체율에 따른 압축강도 발현특성 실험

본 연구의 실험결과는 그림 8과 같다. 그림 8에서 보는 바와 같이 플라이 애쉬 대체율 0%에서는 재령 7일에서는 시험체의 압축강도가 350kgf/cm<sup>2</sup>를 넘는 고강도를 보이고 있다. 그러나 재령 7일의 플라이 애쉬 대체율 20~30%에서 300kgf/cm<sup>2</sup>의 가까운 강도를 보이고 있지만 전 재령에서 플라이 애쉬 대체율이 증가함에 따라 시험체의 압축강도가 저하하였다. 따라서 플라이 애쉬의 적정 사용량에 대한 고려가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

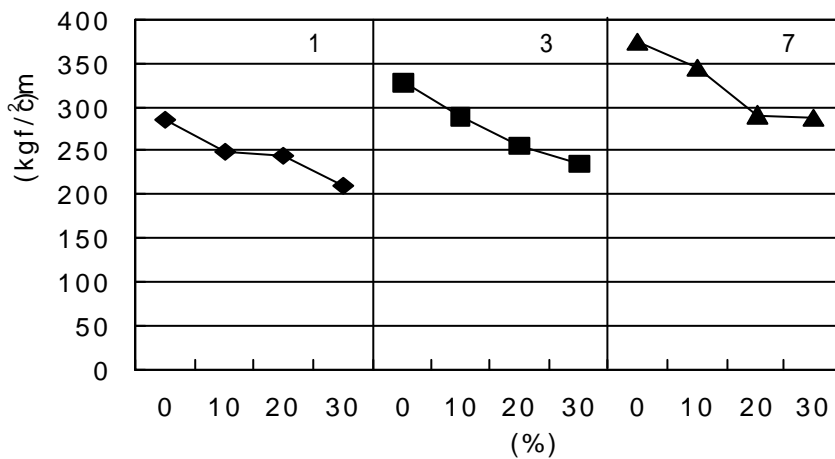


그림 8. 플라이 애쉬 대체율에 따른 압축강도

#### 2.4.5 Y사의 시멘트 혼합재(3) 대체율에 따른 압축강도 발현특성 실험

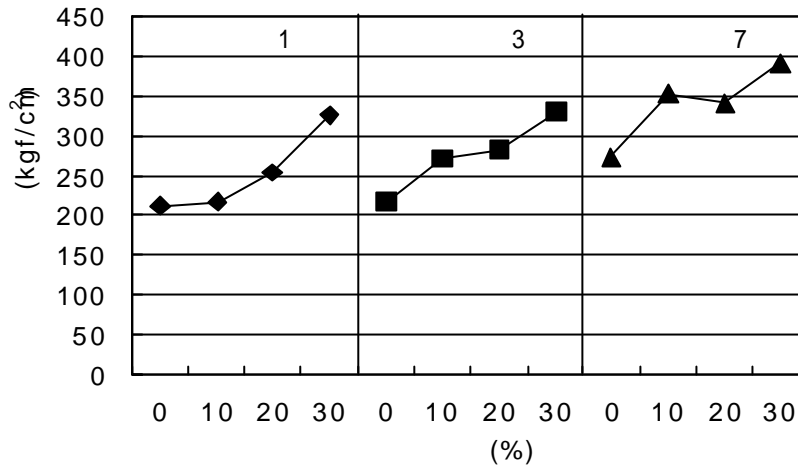


그림 9. 시멘트 혼합재(3) 대체율에 따른 압축강도

본 연구의 실험결과는 그림 9와 같다. 그림 9에서 보는 바와 같이 전 재령에서 시멘트 혼합재(3) 대체율 0~30%까지 압축강도가 증가한다.

재령 1일에서는 혼합재(3)의 대체율 30%에서 300kgf/cm<sup>2</sup>이 넘는 압축강도를 보이고 있으며 재령 7일에서는 400kgf/cm<sup>2</sup>이 넘는 고강도를 발현하고 있다. 따라서 시멘트 혼합재(3)을 적정사용하게 되면 원재료의 절감 및 제품의 품질을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

#### 2.4.6 D사의 시멘트 혼합재(2) 대체율에 따른 압축강도 발현특성 실험

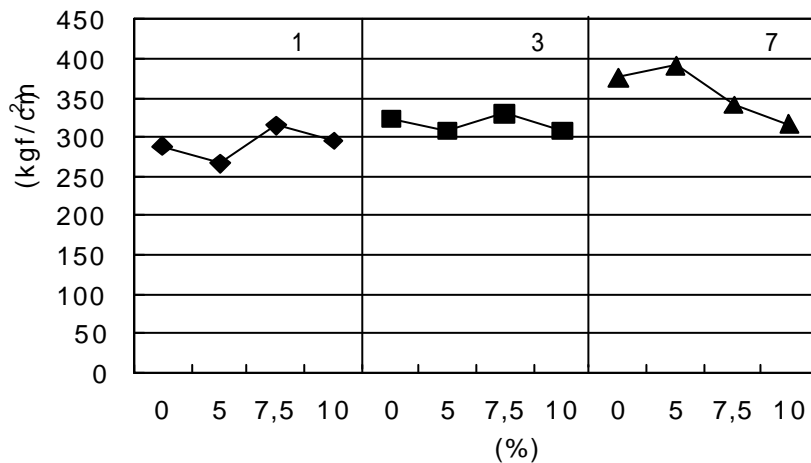


그림 10. 시멘트 혼합재(2) 대체율에 따른 압축강도



본 연구의 실험결과는 그림 10과 같다. 그림 10에서 볼 수 있듯이 재령 7일을 제외하고는 전 재령에서 시멘트 혼합재(2) 대체율에 따른 압축강도가 다소 불규칙하게 나타나고 있다. 이는 원재료로서 혼합재(2)의 소량 사용과 고르지 못한 혼합으로 나타난 실험오차라 사료된다. 그러나 재령 7일에서 혼합재(2) 대체율 5%에서 시험체의 압축강도가  $400\text{kgf/cm}^2$ 의 고강도를 보이고 있으며 Extruding 방식의 제품성형에 있어 수화 속도를 지연시켜주는 효과도 기대할 수 있으므로 혼합재(2)의 적정사용도 고려해야 할 것으로 사료된다.

#### 2.4.7 MC의 대체율에 따른 반응성 검토

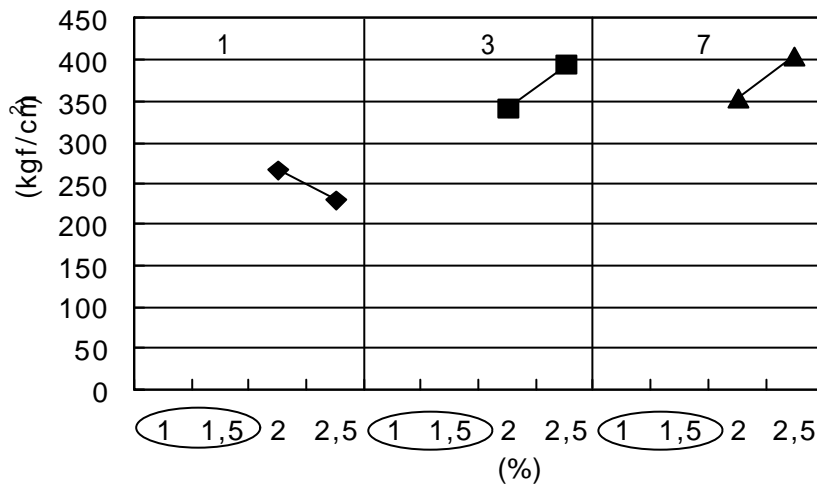


그림 11. MC 대체율에 따른 압축강도

본 연구의 실험결과는 그림 11과 같다. 그림 11에서 보는 바와 같이 타원으로 표시한 MC 대체율 1~1.5%까지는 Extruding으로 제품성형시 재료의 점도가 저하되는 결과를 가져와 제품을 생산할 수가 없었다.

MC 대체율 2~2.5%까지는 재령 1일을 제외하면 강도가  $50\text{kgf/cm}^2$  가까이 높아짐을 볼 수 있다. 그러나 MC 사용에 따른 제품의 경제성을 고려하면 MC 사용량은 2%가 적당할 것으로 사료된다.

#### 2.4.8 Filler인 규사분과 Silca의 비율에 따른 다짐실험

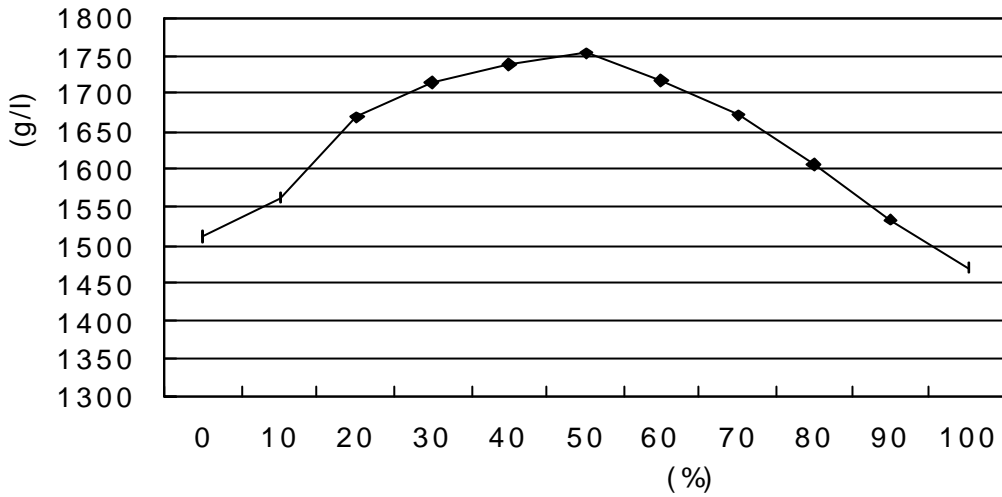


그림 12. 실리카 비율에 따른 단위용적중량

본 연구의 결과는 그림 12와 같다. Filler로 사용되는 실리카와 규사분의 비율에 있어서 실리카의 비율이 50%까지는 단위용적중량이 증가하는 것을 볼 수 있으나 실리카 비율 50~100까지는 다시 감소함을 보이고 있어 제품의 품질과 경제성을 고려할 때 실리카의 비율은 40~50%가 가장 적절할 것으로 사료된다.

#### 2.4.9 Filler인 규사분과 Silca 비에 따른 압축강도 검토

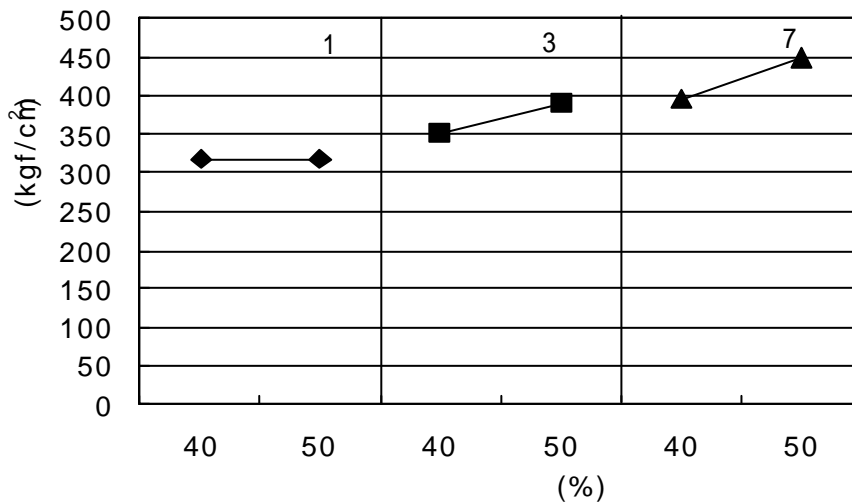


그림 13. 실리카 비율에 따른 압축강도

본 연구의 실험결과는 그림 13과 같다. 전 재령에서 실리카 비율 40~50까지 압축강도가 증가함을 볼 수 있다. 또한 재령 7일에서 실리카 비율 50%에 대한 시험체의 압축강도가  $450\text{kgf/cm}^2$ 의 고강도를 보이고 있어 실리카의 비율은 50%가 가장 적절할 것으로 사료된다.

### 3. 결론

본 기술개발의 목적은 시멘트 압출성형 공정을 이용한 시멘트 소재의 고강도화 및 Wall Spacer의 제조기술을 확보하는 것이다. 따라서 이러한 목적을 달성하기 위하여 본 기술개발에서는 무기구성광물을 분석 검토하고, 최적의 압출 성형이 가능하도록 제조 조건과 배합을 연구하였다.

이들러 고강도화를 위하여 시멘트와 수경성 광물이 충분히 수화반응이 일어날 수 있도록 최적의 조건을 연구하여 고강도를 발현하는 소재를 개발하였다.

본 기술개발에서는 증량제로 시멘트 수화반응을 주도할 수 있고, 골재로써 역할을 하여 고강도화할 수 있는 재료를 선정하여 입자 복합재료(particulated composite)를 설계하여 소재의 최적배합을 연구하여 고강도화를 이룩하였다.