

실리카 흙 및 플라이 애쉬를 사용한 고강도 콘크리트에 관한 연구

(혼화재가 장기강도에 미치는 영향 II)

박 기 철

(중앙대 박사과정)

정 현 수

(중앙대 교수, 공학박사)

1. 서론

최근 선진국에서는 초고층 철근콘크리트 건축물이나 프리스트레스 콘크리트교량등에 부재단면의 축소나 철근량의 저감을 목적으로 압축강도가 1000kg/cm²정도 이상의 고강도 콘크리트를 사용하는 경우가 증가하고 있다. 이러한 초고강도 콘크리트 생산은 混和材料를 사용하지 않고 시멘트만을 이용해서는 불가능하며 일반적으로 실리카흙(silica Fume), 플라이애쉬(Fly Ash)등을 시멘트의 일부분으로 代替해서 사용하고 있다.

본 연구는 고강도 콘크리트 실용화 추세에 발맞추어 混和材料로써 실리카흙과 플라이애쉬를 사용하여 압축강도 1000kg/cm² 정도의 초고강도 콘크리트 제조를 위한 기초적 配合에 관한 것이다. 본 논문(II)에서는 이미 발표한 논문(I)에 이어서 재령 및 물·결합재비(W/c+Ad: 물시멘트비 대신 시멘트에 혼화재를 포함시킨 비율)의 변화에 따라 혼화재의 종류와 혼입량이 압축강도에 미치는 영향을 연구한 것이다.

2. 실험결과 및 고찰

2.1 混和劑의 사용량 및 양생온도

물·결합재비, 혼화재의 종류 및 置換率이 다른 경우의 所要 slump를 얻기위한 減水劑의 사용량은 (그림1)에 나타났다. 물·결합재비가 작을수록 混和材의 첨가량이 클수록 일정 슬럼프 값을 얻는데 필요한 減水劑의 사용량은 증가하고 있다. 또한 혼화재를 첨가하지 않은 플레인 콘크리트는 물·결합재비에 관계없이 가장 낮은 혼화제 첨가율을 나타내고 있다.

(그림2)는 콘크리트 양생기간 동안의 월 평균 최저 최고 온도분포를 월별로 나타낸 것이다. 본 실험의 양생조건은 실내의 대기 상태에서 수중양생하였다. 콘크리트 타설시 온도는 28~30.5℃였으며, 양생기간이 경과함에 따라 재령 1週時에는 양생온도가 22.7~30.5℃, 4週時에는 17~26℃, 26週時에는 -4.6~2.4℃로 가을, 겨울로 계절의 변화에 따라 대기온도는 계속 하락하였다.

2.2 물·결합재비, 혼화제 혼입율과 압축강도의 관계

<표1>은 물·결합재비, 혼화제 종류 및 혼입율 별로 재령에 따른 압축강도의 실험결과를 나타낸 것이다. 재령에 따른 압축강도

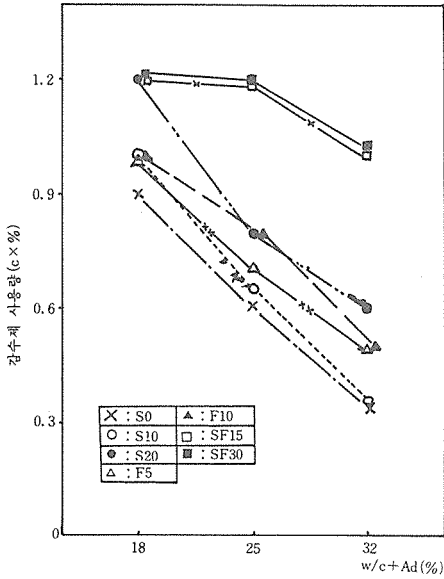


그림1 물·결합재비와 감수제 사용량의 관계

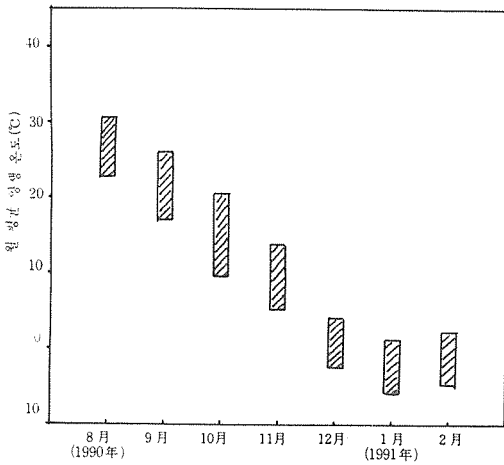


그림2 월평균 양생온도

다른 시험체보다도 가장 높은 압축강도 증가를 보이고 있으며, 혼화재의 혼입율이 15%보다 30%일때가 큰 값을 보이고 있다.

(그림4)는 물·결합재비가 25%일때 재령별 압축강도와 혼화재의 혼입율과의 관계를

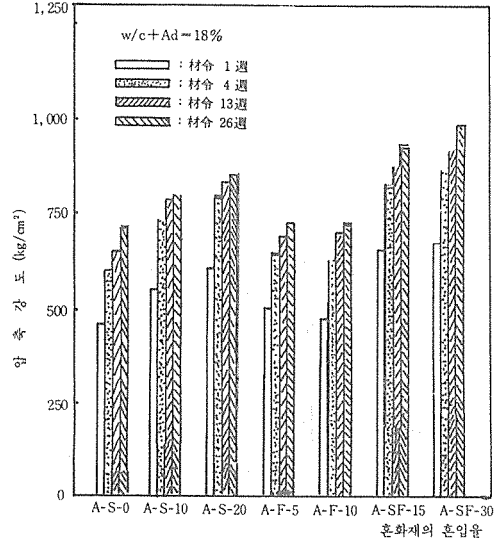


그림3 압축강도와 혼화재 혼입율의 관계

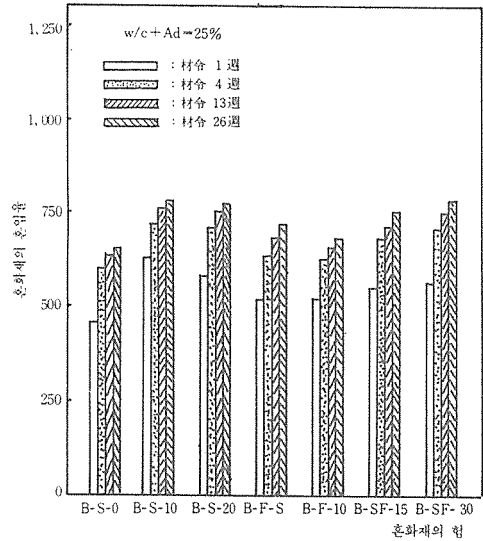


그림4 압축강도와 혼화재 혼입율의 관계

나타낸 것이다. 실리카흄을 혼입한 시험체가 플레인 콘크리트나 플라이애쉬를 혼입한 시험체보다 높은 강도증가를 보였다. (B-SF-15), (B-SF-30) 시험체는 물·결합재비 18%일 경우 실리카흄만을 혼입한 시험체보다 높은 압축강도의 증가를 보였지만, 여기

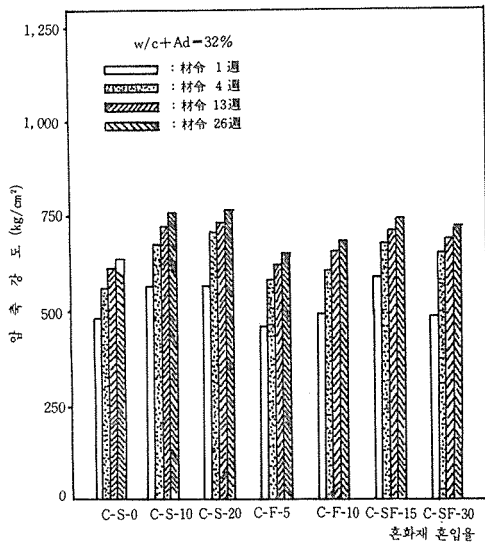


그림5 압축강도와 혼화제 혼입율의 관계

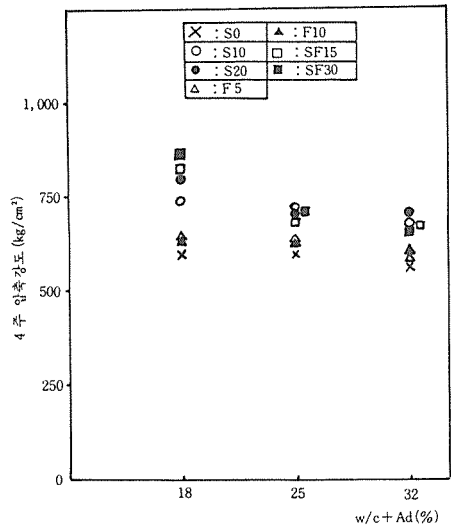


그림6 4주강도와 물·결합재비의 관계

에서는 실리카흄만을 혼입한 시험체와 유사한 압축강도를 나타냈다.

(그림5)는 물·결합재비가 32%인 경우에 재령별 압축강도와 혼화제 혼입율과의 관계를 나타냈다. 재령 1주에서 가장 높은 압축강도를 보인 것은(C-SF-15) 시험체이며, 재령 4주 이후에는 실리카흄을 20% 혼입한 시험체이다. 그러나 플라이 애쉬를 5% 혼입한 시험체는 1주 압축강도에서 플레인 콘크리트보다 강도가 적게 나타났으며 그 이후 재령에서도 플레인 콘크리트와 강도차이를 거의 보이고 있지 않다.

(그림6)은 4주 압축강도와 물·결합재비의 관계를 혼화제 혼입율별로 나타낸 것이다. 물·결합재비가 작을수록 압축강도는 크며, 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트는 플레인 콘크리트의 강도에 비해 30~40kg/cm²정도로 미소한 강도증가를 보이고 있지만, 그 외의 시험체는 플레인 콘크리트보다 100~250kg/cm²정도 압축강도증가를 나타내고 있으며 특히 물·결합재비가 18%인 경우

에 강도 증가폭이 크다.

(그림7)은 재령 26주에서 압축강도와 물·결합재비의 관계를 나타낸 것으로 물·결합재비와 장기재령의 강도비는 4주강도인

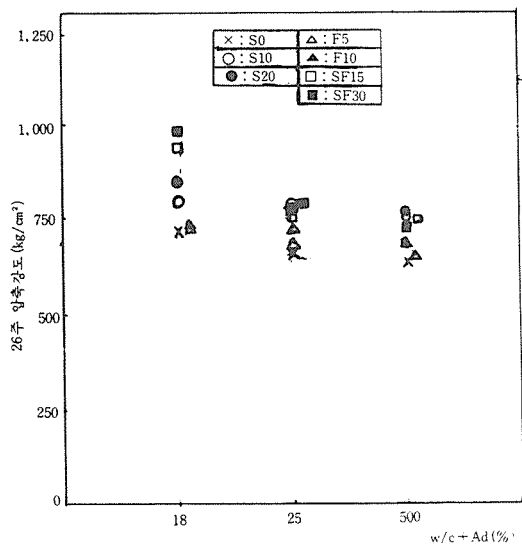


그림7 26주 강도와 물·결합재비의 관계

경우와 유사한 경향을 나타내고 있다.

2.3 콘크리트 압축강도와 재령

(그림8)은 물·결합재비가 18%일때 압축강도와 재령과의 관계를 혼화재종류 및 혼입을 별로 나타낸 것이다. 재령의 증가와 더불어 모든 시험체의 압축강도는 증가하고 있으며, 재령1주에서 4주로 변할때 가장 큰 압축강도의 증가를 보이며, 4주에서 26주는 조금 완만한 기울기로 증가하고 있다. 그러나 다른 물·결합재비(물·결합재비가 큰 경우)와 비교하면 강도 증가·기울기가 가장 크게 나타났다. (A-SF-30) 시험체는 재령의 변화에 관계없이 가장 큰 압축강도를 나타내고 있다.

(그림9)는 물·결합재비가 25%인 경우에 압축강도와 재령과의 관계를 나타냈다. 재령1주에서 4주로 증가할때 압축강도의 증가 기울기가 가장 크며, 4주에서 26주로 변할때 강도 증가기울기는 매우 완만하다.

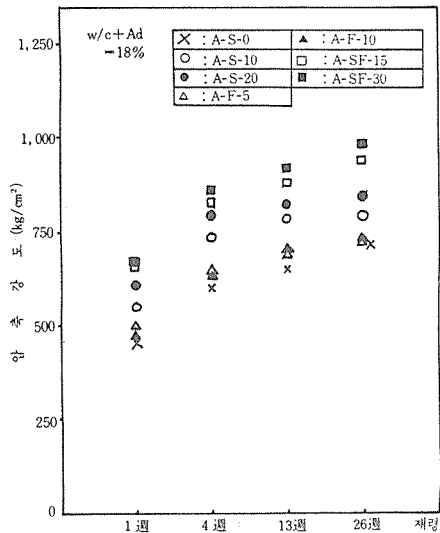


그림8 압축강도와 재령의 관계

(그림10)은 물·결합재비가 32%일때 압축강도와 재령과의 관계를 혼화재 혼입을별로 나타냈다. 여기에서는 물·결합재비가 25%인 경우와 유사한 경향을 보이고 있으며, 플라이애쉬 5% 혼입한(C-F-5) 시험체는 플레인 콘크리트와 거의 같은 강도증가를 보이고 있다.

2.4 혼화재가 압축강도 증가에 미치는 영향

(그림11)은 물·결합재비가 18%인 경우에 플레인 콘크리트에 대한 혼화재의 혼입을 별로 압축강도 증가율과 혼화재 혼입율과의 관계를 나타냈다. 압축강도 증가율은 대체적으로 재령1주에서 가장 크게 나타났으며, 재령1주시 압축강도 증가율이 높은 시험체가 장기재령에도 역시 높은 증가율을 보이고 있다. 재령별 평균 압축강도 증가율을 살펴보면 플라이 애쉬를 사용한 시험체의 강도 증가율은 3~6%, 실리카흄을 사용한 시험체의 강도증가율은 18~28%, 실리카흄과 플라이애쉬를 2:1 비율로 사용한 시험

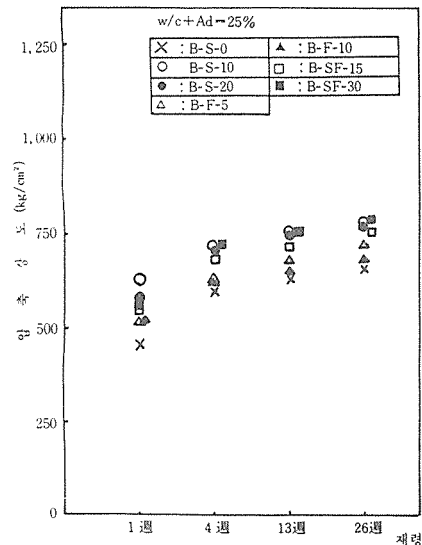


그림9 압축강도와 재령의 관계

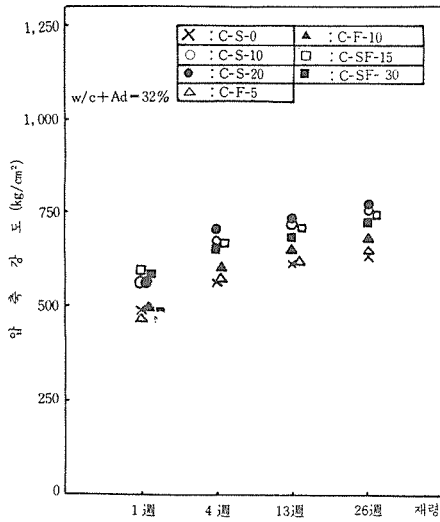


그림10 압축강도와 재령의 관계

체는 37~43%정도의 압축강도 증가율을 나타내어 혼화재의 첨가량이 많을수록 압축강도증가율은 상승하는 것을 알 수 있다.

(그림12)는 물·결합재비가 25%일때 플레인 콘크리트에 대한 혼화재의 혼입율별로 압축강도 증가율과 혼화재 혼입율과의 관계를 나타냈다. 압축강도 증가율은 재령1주에서 혼화재의 종류 및 혼입율에 관계없이 가장 높게 나타났다. 재령4주 이후 실리카흙을 혼입한 시험체의 강도 증가율은 18~20%, 실리카흙과 플라이애쉬를 섞어서 혼입한 시험체의 강도 증가율은 14~18%로 유사한 강도 증가율을 보였다.

(그림13)은 물·결합재비가 32%일때 플레인 콘크리트에 대한 혼화재 혼입율 별로 압축강도 증가율과 혼화재 혼입율과의 관계를 재령별로 나타냈다. 재령1주에서 플라이 애쉬 5% 혼입한(C-F-5) 시험체는 플레인 콘크리트의 강도보다 2% 낮은 강도를 보이고 있다. (C-F-30) 시험체의 1주 강도 증가율이 1%에 그친 것은 물·결합재비가 32%로 증가했을때 혼화재 혼입율이 30%로 큰 경우에 시멘트량의 감소로 인하여 조기강도의

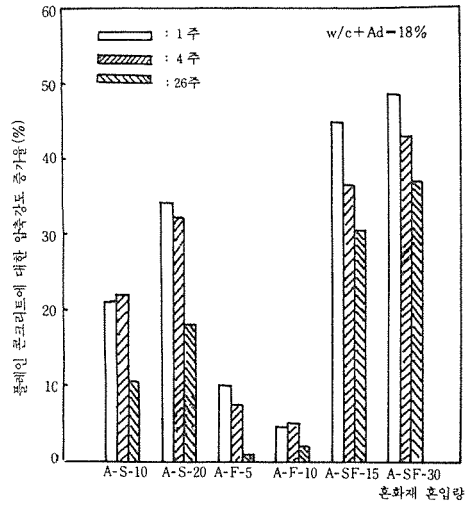


그림11 플레인 콘크리트에 대한 압축강도 증가율과 혼화재혼입량의 관계

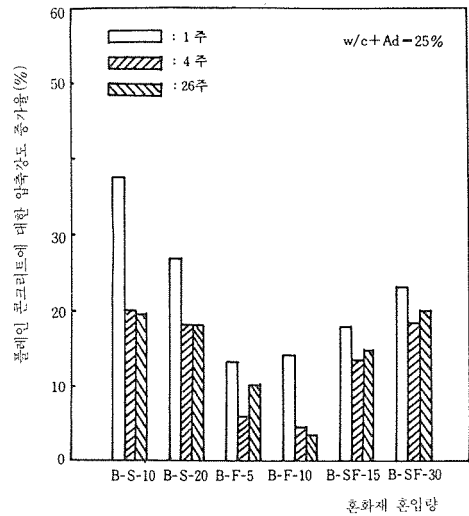


그림12 플레인 콘크리트에 대한 압축강도 증가율과 혼화재 혼입량의 관계

발현이 지연되기 때문으로 사료된다. 따라서 조기에 높은 압축강도를 얻기 위해서는 물·결합재비를 20%내외 정도로 적은 범위를 선택해야 할 필요가 있다. 4주이후의 장기재령에서는 실리카흙만을 혼입한 시험체가 가장 높은 증가율을 보였다.

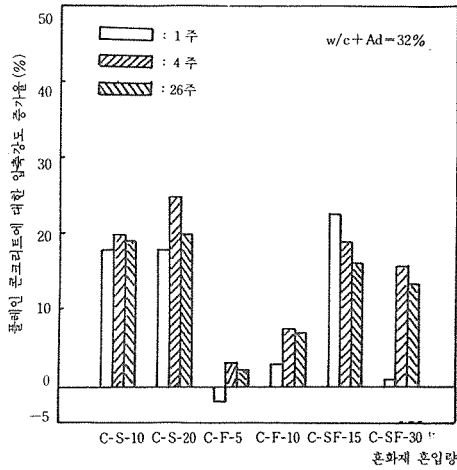


그림13 플레인 콘크리트에 대한 압축강도 증가율과 혼화제 혼입량의 관계

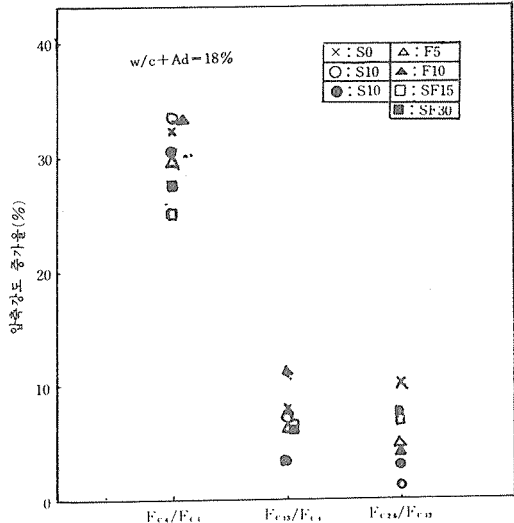


그림14 압축강도 증가율 그림15 압축강도 증가율 그림16 압축강도 증가율

(그림14)는 물·결합재비가 18%인 경우 재령별 압축강도 증가율을 혼화제 종류 및 혼입을 별로 나타낸 것이다. 재령 4주 강도를 재령1주 강도로 나눈 값(F_{c4}/F_{c1})은 25~33%로 가장 높은 강도 증가율을 보였으며, 재령13주 강도가 4주 강도(F_{c13}/F_{c4})에 비해 3~11%, 재령 26주 강도가 13주(F_{c26}/F_{c13})에 비해 2~10%정도의 증가를 보였다. (F_{c4}/F_{c1})에서 SF15와 SF30 시험체의 강도 증가율이 낮은 원인은 재령 4주에서도 역시 가장 높은 압축강도를 보였지만 재령 1주 때 나타낸 높은 강도 때문에 재령에 따른 강도 증가율이 적게 나타난 것이다.

(그림15)는 물·결합재비가 25%일때 재령별 압축강도 증가율을 나타낸 것이다. 물·결합재비가 18%인 경우와 유사하게 (F_{c4}/F_{c1})에서 15~30% 정도로 가장 큰 강도 증가율을 보였으며, (F_{c13}/F_{c4})에서는 4~8%, (F_{c26}/F_{c13})에서는 3~6%정도의

강도 증가율을 각각 나타내고 있다.

(그림16)은 물·결합재비가 32%일때 재령별 압축강도 증가율을 혼화제 종류 및 혼입을 별로 나타낸 것이다. (F_{c4}/F_{c1})에서는 13~34% 정도의 강도 증가율을 보이고 있으며, 재령 13주 이후의 강도 증가율은 5~9%을 보이고 있다.

물·결합재비에 관계없이 장기재령에서 혼화제를 사용한 시험체의 강도가 낮은 원인은 재령 4주시까지 양생온도가 20℃이상으로 비교적 높았지만 그후 계속적인 양생온도의 저하 때문으로 사료된다.

기존연구¹⁾에서도 재령 4주時 양생온도 5℃와 20℃, 30℃에서 압축강도는 실리카흙치환율과 양생온도가 높을수록 높은 압축강도 증가를 보였다. 그러나 재령 13주에서는 양생온도가 20℃와 30℃의 경우 강도 증가차이는 둔화되지만 5℃와 20℃에서는 높은 강도차이를 보이고 있다. 콘크리트의 4주 압축강도에서는 양생온도가 큰 영향을 미치

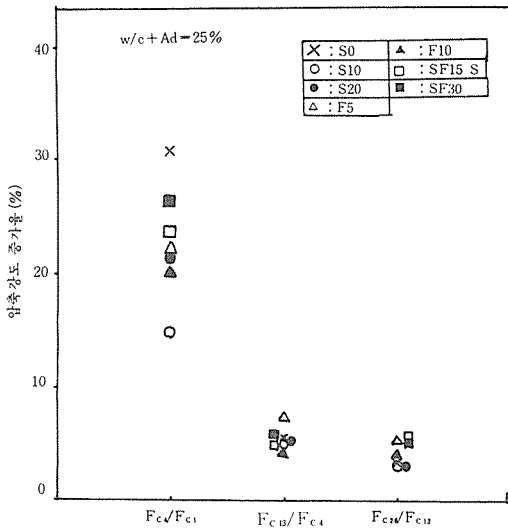


그림 15. 압축강도 증가율

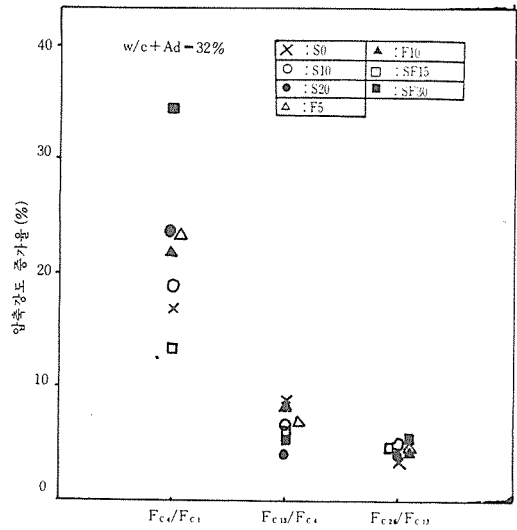


그림 16. 압축강도 증가율

고 있으며 특히 혼화재의 사용량이 클수록 민감한 것을 알 수 있다. 또한 장기강도에 있어서는 양생온도 20℃는 30℃와 큰 차이를 보이고 있지 않지만, 5℃와는 강도 차이를 보이고 있어 앞으로 혼화재를 사용한 고강도 콘크리트에서 양생온도에 대한 정량적 평가가 필요하다.

3. 결론

본 실험은 물·결합재비가 18~32% 범위에서 단위 시멘트량 650kg/m³, 세골재율 35%로 일정하게 했을 때 혼화재의 종류 및 혼입율이 재령의 변화에 따라 콘크리트 압축강도가 증가에 미치는 영향을 연구한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 재령의 변화에 따른 압축강도 증가는 물·결합재비가 작을 수록 혼화재 첨가율이 클수록 높은 증가율을 보였다.

2) 혼화재로서 플라이애쉬를 시멘트량에 5~10% 사용한 시험체는 플레인 콘크리트에 대한 압축강도 증가율이 5%내외로 다른 시험체보다 가장 적게 나타났다.

3) 물·결합재가 18%일 때 실리카흄과 플라이애쉬를 2:1 비율로 혼화재를 시멘트량

의 30% 치환해서 혼입한 경우 약 1000kg/cm²의 압축강도를 얻을 수 있다.

* 본 연구에 실리카흄을 제공해 주신 원우 무역 김종찬 부장님께 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. 渡部嗣道外3名：“シリカフコーム・高爐スラック” 微粉末を使用しに高強度 コンクリートの諸特性”， 콘크리트工学年次論文報告集, 1990. 12
2. 松尾 忠外1名：“超高强度 콘크리트에 관する 실험 연구”， 日本建築學會大會, 1990. 10
3. 和泉意登志外5名：“シリカフコームの種類가 超高强度 콘크리트의 性質에 及ぼす影響” 日本建築學會大會, 1990. 10
4. 石井光裕外3名：“分級フライアッシュを用いた 高強度 콘크리트의 연구”， 日本建築學會大會, 1990. 10
5. 緒方眞治外1名：“超高强度 콘크리트의 力學的 性質について” 日本建築學會大會 1990. 10