

# 플라이애쉬를 多量 置換한 콘크리트의 養生溫度에 따른 強度性狀

## Strength Properties by Curing Temperature of High Volume Fly-Ash Concrete

**이 동 하\***      **정 근 호\*\***      **백 민 수\*\***      **김 성 식\*\*\***      **임 남 기\*\*\*\***      **정 상 진\*\*\*\*\***  
 Lee, Dong-Ha      ung, Keun-Ho      Paik, Min-Su      Kim, Sung-Sik      Lim, Nam-Gi      Jung, Sang-Jin

### Abstract

In this study, it does a high volume flyash substituted concrete experiments in two curing temperature circumstances - 35℃, 20℃. High volume flyash concrete is tested in fresh concrete properties and hardened concrete properties.

In the fresh concrete test items, there is slump, air contents, concrete setting tests. 3, 7, and 28 days water curing compressive strength is measured in the hardened concrete test. The purpose of this study is to submit a various flyash concrete data for application to field.

The result of this study is that the best strength is developed at the plain concrete cured 20℃ and Mixing F43 shows the best strength among specimens which cured at 35℃

키 워 드 : 다량 치환 플라이애쉬, 양생온도, 압축강도

Keywords : High volume fly-ash, curing temperature, compressive strength

## 1. 서 론

국가경제의 발전과 산업구조의 고도화에 따라 우리나라의 전력사용량은 해마다 급증하고 있으며, 전력생산 체계의 다변화와 함께 화력발전의 수요도 점차 증가하는 추세에 있다. 석탄화력 발전소의 증가에 따라 산업부산물인 석탄회 발생량도 점차 증가하는 추세에 있다. 그러나 국내의 경우 화력발전소에서 발생하는 이들 석탄회의 일부분만이 재활용되고 있으며 대부분은 매립을 통하여 폐기 처분되고 있어 선진외국의 50~70%이상 재활용하는 것과 비교할 때 자원이 부족한 우리나라의 실정으로서 매우 안타까운 일이 아닐 수 없다. 또한 석탄회매립지 확보의 어려움과 석탄회 매립지의 환경 오염으로 인하여 경제적·환경적 비용 부담이 가중되고 있다. 따라서, 대량으로 발생하고 있는 석탄회를 유효한 자원으로 재활용하고 환경문제를 해결하기 위해서는 석탄회의 대량사용이 가능한 분야에 대한 다양하고도 적극적인 용도 개발이 필요한 실정이다.

석탄회 중 플라이애쉬는 현재 콘크리트용 혼화재료로 사용되고 있으며 수화발열의 저감, 경화체 조직의 치밀화, 장기강도증진, 워커빌리티 개선 등의 우수한 성질을 가지고 있으며, 경제성 및 공급의 안정성이 우수하여 점차 사용량이 증가하고 있는 추세이다. 또한 화력 발전소 산업폐기물인 플라이애쉬의 재활용은 환경적인 면에서도 매우 중요한 문제로 대두

되고 있다. 다만, 플라이애쉬를 결합재의 일부로 치환하여 사용할 경우 치환율의 증대에 따른 단위시멘트량의 감소로 인해 초기강도저하 및 중성화에 대한 저항성이 저하하는 단점이 있다.

본 연구에서는 다량의 플라이애쉬를 결합재와 잔골재로 치환하여 양생온도 35℃의 서중환경, 양생온도 20℃의 표준환경에서 굳지 않은 콘크리트의 특성 및 경화 콘크리트의 특성에 관한 실험을 실시하였다. 여러가지 다양한 수준의 배합을 비교하여 현장에 도움이 될 수 있는 자료를 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 실험의 배합은 물결합재비를 45%, 50%의 2수준으로 하였고, 플라이애쉬의 치환율은 0, 30, 31, 32, 40, 41, 42, 43%의 8수준으로 하였으며, 양생온도를 20℃, 35℃의 2수준으로 하였다. 굳지 않은 콘크리트 실험으로는 슬럼프, 공기량, 콘크리트 응결시험을 하였고, 경화 콘크리트의 실험으로는 수중양생한 공시체를 재령 3, 7, 28일에 압축강도를 측정하였다. 또한, 혼화재의 경우 AE감수제와 보조 혼화제로 AE제를 추가 사용하여 목표 슬럼프 18±2cm, 목표 공기량 4.5±1.5%로 설정하여 실험을 하였다.

본 실험의 실험인자, 수준 및 측정항목은 표1과 같고 이에 따른 배합사항과 배합체계는 표 2, 그림 1과 같다.

\* 정희원, 단국대 대학원 석사과정

\*\* 정희원, 단국대 대학원 박사수료

\*\*\* 정희원, 대흥ENG 전무이사

\*\*\*\* 정희원, 동명정보대 건축공학부 교수

\*\*\*\*\* 정희원, 단국대 건축공학과 교수

표 1. 실험인자와 수준 및 측정항목

| 구분 | W/B (%) | 양생온도 (°C) | 치환율 (%)                   | 측정항목                |                       |
|----|---------|-----------|---------------------------|---------------------|-----------------------|
|    |         |           |                           | 굳지 않은 콘크리트          | 경화 콘크리트               |
| 인자 | 45, 50  | 20, 35    | 0,30,31,32<br>40,41,42,43 | 슬럼프, 공기량, 콘크리트 응결시험 | 압축강도 (수중양생) 재령 3,7,28 |
| 수준 | 2       | 2         | 8                         | 3                   | 1                     |

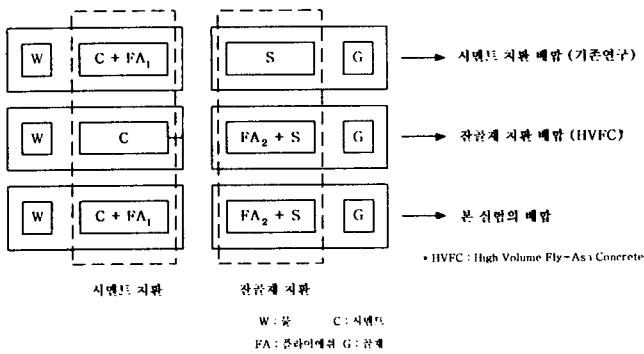


그림 1. 배합체계 모식도

표 2. 배합표

| 시험체명    | W/C (%) | W/B (%) | S/A (%) | FA치환율 |    | 단위용적중량(kg/m³) |     |     |     |      |
|---------|---------|---------|---------|-------|----|---------------|-----|-----|-----|------|
|         |         |         |         | C     | S  | W             | C   | FA  | S   | G    |
| W45-F00 | 45.0    | 45.0    | 41.0    | 0     | 0  | 180           | 400 | 0   | 696 | 1009 |
| W45-F30 | 64.3    | 45.0    | 41.0    | 30    | 0  | 180           | 280 | 120 | 676 | 980  |
| W45-F31 | 60.0    | 42.9    | 40.1    | 25    | 5  | 180           | 300 | 120 | 655 | 985  |
| W45-F32 | 56.3    | 40.9    | 39.2    | 20    | 10 | 180           | 320 | 120 | 633 | 990  |
| W45-F40 | 75.0    | 45.0    | 41.0    | 40    | 0  | 180           | 240 | 160 | 670 | 971  |
| W45-F41 | 69.2    | 42.9    | 40.1    | 35    | 5  | 180           | 260 | 160 | 648 | 976  |
| W45-F42 | 64.3    | 40.9    | 39.1    | 30    | 10 | 180           | 280 | 160 | 626 | 980  |
| W45-F43 | 60.0    | 39.1    | 38.2    | 25    | 15 | 180           | 300 | 160 | 605 | 985  |
| W50-F00 | 50.0    | 50.0    | 43.0    | 0     | 0  | 180           | 360 | 0   | 744 | 994  |
| W50-F30 | 71.4    | 50.0    | 43.0    | 30    | 0  | 180           | 252 | 108 | 726 | 969  |
| W50-F31 | 66.7    | 47.6    | 42.3    | 25    | 5  | 180           | 270 | 108 | 707 | 973  |
| W50-F32 | 62.5    | 45.2    | 41.5    | 20    | 10 | 180           | 288 | 108 | 688 | 977  |
| W50-F40 | 83.3    | 50.0    | 43.0    | 40    | 0  | 180           | 216 | 144 | 719 | 961  |
| W50-F41 | 76.9    | 47.6    | 42.2    | 35    | 5  | 180           | 234 | 144 | 700 | 965  |
| W50-F42 | 71.4    | 45.2    | 41.5    | 30    | 10 | 180           | 252 | 144 | 681 | 969  |
| W50-F43 | 66.7    | 43.5    | 40.7    | 25    | 15 | 180           | 270 | 144 | 662 | 973  |

## 2.2 사용재료

### 1) 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 국내산 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다

### 2) 골재

잔골재의 경우 인천산세 사로 최대치수를 5mm이하로 입도 조정하여 사용하였고, 굵은 골재의 경우 광주석산 쇄석으로 최대치수 25mm이하로 입도조정하여 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 3. 골재의 물리적 성질

| 구분   | 비중   | 흡수율 (%) | 조립율 (%) | 단위용적중량 (kg/m³) | 실적율 (%) |
|------|------|---------|---------|----------------|---------|
| 잔골재  | 2.60 | 0.98    | 2.87    | 1,590          | 61.2    |
| 굵은골재 | 2.62 | 1.8     | 6.8     | 1,596          | 61.04   |

### 3) 플라이애쉬

플라이애쉬의 경우 보령 화력발전소에서 생산정제 과정을 거친 유연탄 플라이애쉬를 사용하였고, 물리·화학적 특성은 표 4와 같다.

표 4 플라이애쉬의 물리·화학적 특성

| 강열 감량 (%) | 단위 수량비 (%) | 분말도 (cm²/g) | 비중   | 압축 강도비 (%) | SiO2 (%) | 습분 (%) |
|-----------|------------|-------------|------|------------|----------|--------|
| 3.75      | 100        | 3,084       | 2.11 | 95         | 59.7     | 0.11   |

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 굳지 않은 콘크리트 실험결과

#### 1) 슬럼프 및 공기량

본 연구에서의 슬럼프 및 공기량은 각 배합별로 혼화제의 적절한 혼입으로 목표 슬럼프인 18±2cm와 목표 공기량 4.5±1.5%를 전부 만족하는 것으로 나타났다.

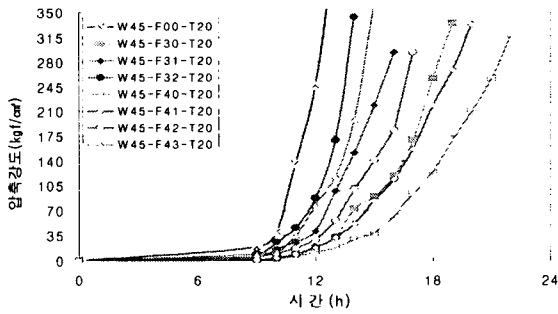
#### 2) 콘크리트 응결시험

양생온도 20°C에서의 응결시험은 W/B 45%경우 플레인이 가장 빠른 응결을 보였으며, 플라이애쉬 치환율이 높을수록 응결시간이 지연되며, 같은 양의 플라이애쉬 치환율의 경우 잔골재의 플라이애쉬 치환율이 낮을수록 응결이 지연되는 것으로 나타나 단위시멘트량이 많을수록 빠르게 응결되는 것으로 판단된다. 응결특성을 보면 플레인이 8시간에 초결을 시작하여 11시간에 종결하였다. 플라이애쉬 치환율이 가장 많은 40% 경우 결합재료만 치환한 시험체는 초결이 15시간이 경과한 후 시작하여 22시간에 종결을 하여 플레인에 비해 약 2배나 늦게 응결이 지연되는 것으로 나타났다. W/B 50%경우는 W/B 45%와 거의 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났으며, 전체적으로 단위시멘트량의 감소로 인해 초결 및 종결시간이 약1~2시간정도 늦어지는 것으로 나타났다.

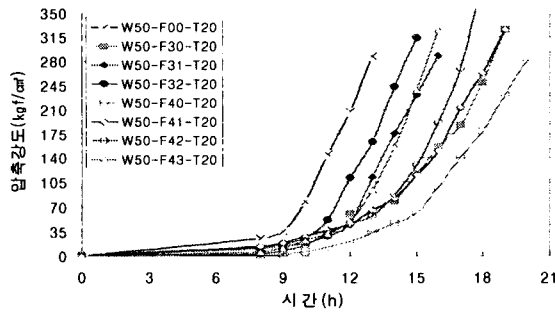
### 3.2 경화 콘크리트 실험결과

표 5. 콘크리트 실험결과 단위 : kgf/cm<sup>2</sup>

| 시험체명        | 양생 온도 (°C) | 굳지 않은 콘크리트 |         | 경화콘크리트 |     |     |
|-------------|------------|------------|---------|--------|-----|-----|
|             |            | 슬럼프 (mm)   | 공기량 (%) | 3      | 7   | 28  |
| W45-F00-T20 | 20         | 165        | 4.0     | 162    | 244 | 321 |
| W45-F30-T20 | 20         | 180        | 3.3     | 103    | 147 | 240 |
| W45-F31-T20 | 20         | 174        | 3.6     | 125    | 186 | 268 |
| W45-F32-T20 | 20         | 168        | 3.4     | 142    | 224 | 309 |
| W45-F40-T20 | 20         | 190        | 3.7     | 87     | 143 | 230 |
| W45-F41-T20 | 20         | 175        | 3.3     | 111    | 164 | 248 |
| W45-F42-T20 | 20         | 165        | 3.6     | 136    | 185 | 258 |
| W45-F43-T20 | 20         | 162        | 3.1     | 140    | 210 | 299 |
| W50-F00-T20 | 20         | 183        | 4.0     | 145    | 207 | 261 |
| W50-F30-T20 | 20         | 200        | 3.1     | 71     | 120 | 188 |
| W50-F31-T20 | 20         | 183        | 3.4     | 104    | 151 | 237 |
| W50-F32-T20 | 20         | 186        | 3.4     | 123    | 167 | 252 |
| W50-F40-T20 | 20         | 195        | 3.5     | 59     | 103 | 176 |
| W50-F41-T20 | 20         | 193        | 3.2     | 63     | 117 | 199 |
| W50-F42-T20 | 20         | 180        | 3.4     | 81     | 139 | 229 |
| W50-F43-T20 | 20         | 184        | 3.4     | 93     | 148 | 249 |
| W45-F00-T35 | 35         | 164        | 4.1     | 182    | 240 | 305 |
| W45-F30-T35 | 35         | 183        | 3.5     | 100    | 171 | 268 |
| W45-F31-T35 | 35         | 180        | 3.8     | 103    | 184 | 275 |
| W45-F32-T35 | 35         | 175        | 3.5     | 140    | 196 | 312 |
| W45-F40-T35 | 35         | 191        | 3.6     | 100    | 158 | 244 |
| W45-F41-T35 | 35         | 171        | 3.6     | 108    | 175 | 277 |
| W45-F42-T35 | 35         | 175        | 3.7     | 117    | 179 | 282 |
| W45-F43-T35 | 35         | 164        | 3.2     | 168    | 246 | 353 |
| W50-F00-T35 | 35         | 183        | 3.7     | 168    | 213 | 259 |
| W50-F30-T35 | 35         | 188        | 3.3     | 103    | 146 | 238 |
| W50-F31-T35 | 35         | 188        | 3.4     | 123    | 177 | 267 |
| W50-F32-T35 | 35         | 183        | 3.2     | 131    | 190 | 280 |
| W50-F40-T35 | 35         | 197        | 3.3     | 99     | 125 | 232 |
| W50-F41-T35 | 35         | 195        | 3.4     | 103    | 128 | 255 |
| W50-F42-T35 | 35         | 175        | 3.6     | 118    | 151 | 272 |
| W50-F43-T35 | 35         | 174        | 3.3     | 123    | 161 | 283 |



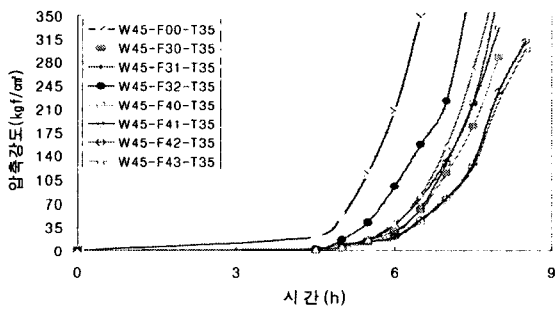
W/B 45%



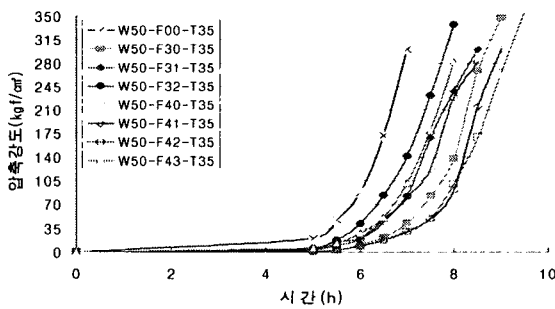
W/B 50%

그림 2. 양생온도 20°C에서의 콘크리트 응결시험

양생온도 35°C에서의 W/B 45% 응결시험의 경향은 양생온도 20°C와 유사하게 나타났다. 응결특성은 플레인의 경우 약 4.5시간에 초결을 시작하여 6.5시간에 종결을 한 것으로 나타났다. W/B 50%경우 W/B 45%와 거의 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 또한 양생온도 35°C에서의 응결시험은 양생온도 20°C에서의 응결시험보다 2배 이상의 빠른 응결이 나타났다. 이것은 초기의 양생온도가 높을수록 빠른 수화반응을 일으켜 초기에 높은 강도발현을 나타낸 것으로 판단된다.



W/B 45%



W/B 50%

그림 3. 양생온도 35°C에서의 콘크리트 응결시험

#### 1) 양생온도 20°C 표준환경에서의 강도특성

W/B 45%의 시험체의 경우 플레인이 가장 높은 강도발현이 나타났다. 같은 양의 플라이애쉬 치환 시험체는 잔골재 치환율이 증가할수록 강도가 높게 발현하는 것으로 나타났다. 특히 배합F32, 배합F43 시험체의 경우 플라이애쉬 치환율이 높음에도 불구하고 잔골재 치환율이 높음으로서 결합재량이 증가함에 따라 플레인 콘크리트의 90%이상의 강도 발현을 하는 것으로 나타났다. W/B 50% 경우 W/B 45%와 유사한 경향으로 나타났다.

#### 2) 양생온도 35°C 서중환경에서의 강도특성

양생온도 35°C에서 W/B 45% 공시체의 강도발현은 배합F43이 가장 높은 것으로 나타났다. 초기강도의 경우 재령 10일까지는 플레인이 가장 높은 강도발현을 보였으나, 재령 28일의 경우 플레인보다 배합F43, 배합F32가 더 높은 강도발현을 하는 것으로 나타났다. 이는 초기강도의 경우 단위시멘트량이 많은 플레인 시험체가 높은 강도발현을 하였으나, 재령이 경과할수록 강도의 증가량이 저하하는데 반해 배합F32, 배합F43 시험의 경우 높은 결합재량에 의해 지속적인 강도발

현을 하여 재령 28일에서는 플레인 시험체보다 높은 강도발현을 나타내는 것으로 판단된다. W/B 50% 경우 W/B 45%와 유사한 경향으로 나타났다.

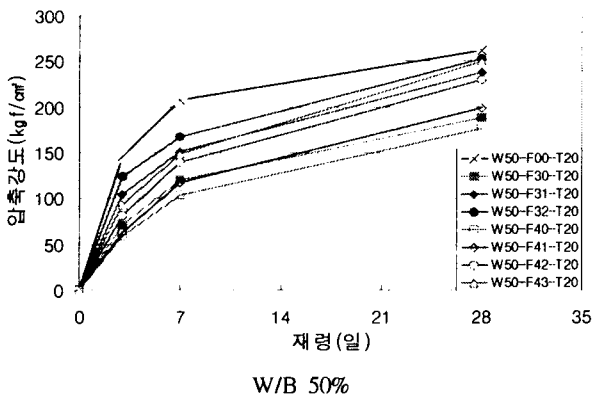
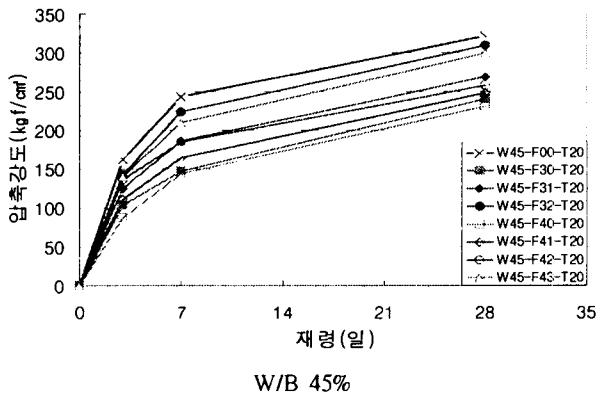


그림 4. 수중양생 재령별 압축강도(20°C)

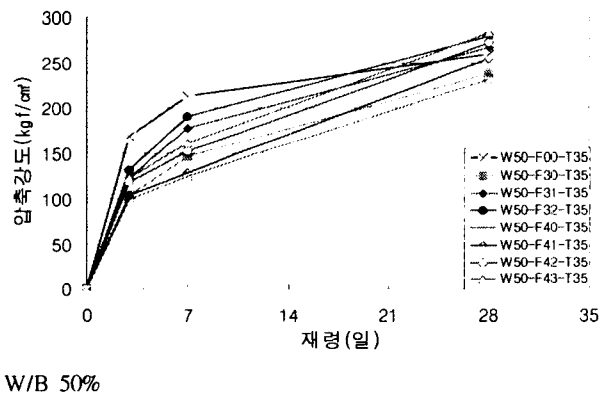
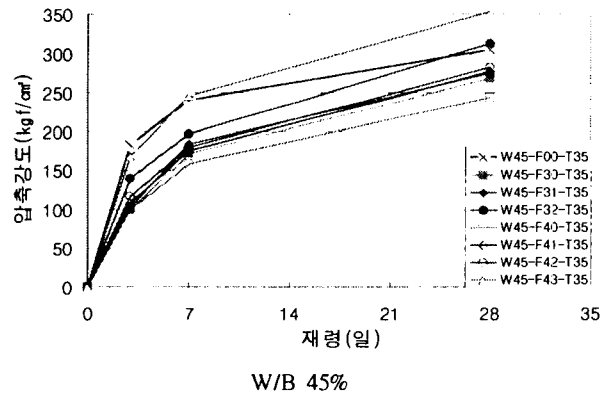


그림 5. 수중양생 재령별 압축강도(35°C)

#### 4. 결론

플라이애쉬를 다량 치환한 콘크리트의 양생온도에 따른 강도성상을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 양생온도 20°C에서의 응결시험은 플라이애쉬 치환율이 높을수록 응결시간이 지연되며, 같은 양의 플라이애쉬 치환율의 경우 잔골재의 플라이애쉬 치환율이 낮을수록 응결이 지연되는 것으로 나타났다.
- 2) 양생온도 35°C에서의 응결시험은 양생온도 20°C와 유사한 경향으로 응결하였다. 또한 양생온도 35°C에서의 응결은 양생온도 20°C에서의 응결보다 2배이상의 빠른 응결이 나타났다.
- 3) 양생온도 20°C 표준환경의 강도특성은 플레인 콘크리트가 재령 28일에서 가장 높은 강도발현을 나타냈다. 같은 양의 플라이애쉬 치환 시험체는 잔골재 치환율이 증가할수록 강도가 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 배합F32와 배합F43 시험체의 경우 플라이애쉬 치환율이 높음에도 불구하고 잔골재 치환율이 높음으로서 결합재량이 증가함에 따라 높은 강도발현을 하는 것으로 나타났다.
- 4) 양생온도 35°C 서중환경의 강도특성은 배합F43이 재령 28일에서 가장 높은 강도발현을 나타냈다. 초기강도의 경우 재령 10일까지는 플레인이 가장 높은 강도발현을 보였으나, 재령 28일의 경우 플레인보다 배합F32 및 F43이 더 높은 강도발현을 하는 것으로 나타났다. 이는 초기에는 단위시멘트량이 많은 플레인 콘크리트가 높은 강도를 나타내고 있으나 재령이 경과함에 따라 결합재량이 높은 배합F32 및 F43이 지속적인 강도 발현을 하여 강도가 증가하는 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

1. 정상진 외, "건축재료학", 보성각
2. 정상진 외, "알기 쉬운 건축 시공재료", 보성각
3. 정상진 외, "플라이애쉬를 다량 치환한 콘크리트의 초기강도특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제 21권 제2호 2001.10
4. 정상진 외, "플라이애쉬를 사용한 일반 구조체 콘크리트의 적용성 및 품질관리에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집 구조계 2000. 8
5. 椎葉大和, "フライッシュを大量使用したコソクリートの諸性状", コソクリート工学年次論文集, 2001.
6. 松藤 奉典, "フライッシュを外割大量使用するコソクリートの調査則に関する研究", 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1998.9
7. A.M Neville, "Properties of Concrete", 4th Edition, Longman, 1995