



표 2. 시멘트의 物理的 性質

| 종류       | 비중   | 분말도 (cm <sup>2</sup> /g) | 응결시간(h-m) |      | 압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> ) |     |     |     |
|----------|------|--------------------------|-----------|------|----------------------------|-----|-----|-----|
|          |      |                          | 초결        | 종결   | 1일                         | 3일  | 7일  | 28일 |
| 포틀랜드 시멘트 | 3.15 | 3,570                    | 3-25      | 5-15 | 135                        | 256 | 352 | 420 |

표 3. 시멘트의 化學的 性質

| CaO  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | 기타   |
|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|-----------------|------------------|-------------------|------|
| 62.9 | 20.5             | 6.1                            | 3.1                            | 3.1 | 2.4             | 0.86             | 0.13              | 0.91 |

표 4. Rheobuild-716의 物理的 性質

| 형태 | 색상 | 주 성분               | 특성 | 비중   |
|----|----|--------------------|----|------|
| 액상 | 흑색 | Synthetic Polymers | 없음 | 1.10 |

표 5. 骨材의 物理的 性質

| 구분  | 입경 (mm) | 조립률 (F.H) | 비중   | 흡수율 (%) | 실적률 (%) | 단위용적량 (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-----|---------|-----------|------|---------|---------|----------------------------|
| 강모래 | 2.5     | 2.55      | 2.60 | 1.21    | 59.1    | 1,539                      |
| 강자갈 | 20      | 6.90      | 2.59 | 1.24    | 62.2    | 1,611                      |

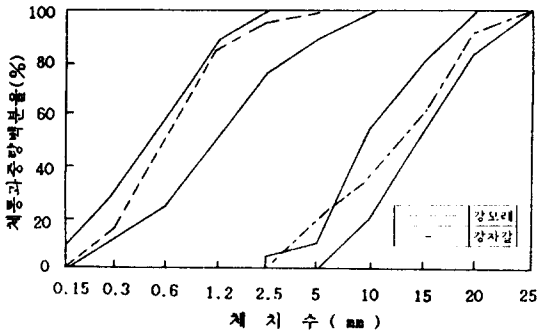


그림 1. 骨材의 粒度曲線

기건양생을 행하여 壓縮強度, 引張強度 (Indirect Tensile Strength), 動彈性係數, 應力-變形曲線, 反撥度, 超音波速度 및 單位容積重량을 측정하였으며, 測定材齡은 7, 28, 60, 90, 180日까지 행하였다.

2.2 使用材料

本實驗에 사용한 시멘트의 물리적 성질 및 화학

적조성은 표2, 표3과 같고, 高性能減水劑 Rheobuild-716의 物理的 性質은 표4와 같다. 骨材는 細粗骨材 모두 중복 심천산으로 그 物理的 性質 및 粒度分布는 표5 및 그림1과 같다.

2.3 콘크리트의 調合, 供試體의 製作 및 養生方法

콘크리트의 調合은 기존의 研究論文<sup>1)5)</sup>을 參考로 하여 수차의 시험비빔을 통하여 표6과 같이 결정하였다.

비빔은 베이스콘크리트의 경우 3분비빔 (1분비빔-1분휴지-2분비빔)을 채택하였고, 高性能減水劑를 添加한 콘크리트는 베이스콘크리트에 高性能減水劑를 添加한 후 2분간 재비빔을 행하여 제조하였다.

壓縮強度 및 引張強度試驗用 供試體는 10φ·20cm, 反撥度用은 15φ×30cm실린더형 물드를 사용하여 제작하였으며 다짐을 증진시키기 위하여 각각의 供試體는 3층으로 나누어 채워넣고 각 층은 다짐봉으로 25회 다진후 나무망치로 12회씩 타격을 가하여 제작하여 각 측정일까지 水中標準養生 (20±3°C) 및 氣乾養生을 실시하였다. 또한 本實驗에 사용된 각종 試驗方法은 KS의 각 규준에 준하여 행하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 아직굳지않은 콘크리트의 物性

아직굳지않은 콘크리트의 試驗結果는 표6과 같다.

그림2는 單位시멘트량과 空氣量 및 슬럼프와의 관계, 그림3은 單位시멘트량과 플로우·다짐係數와의 관계로서 空氣量은 시멘트량의 變化 및 高性能減水劑의 첨가유무에 따라서 별다른 차이를 보이지 않고 있어 시멘트량의 차이에 따른 空氣量의 變化는 없는 것으로 사료되고, 또한 SP劑는 콘크리트의 空氣連行에 거의 影響을 미치지 않는다는 보고와도 일치하고 있다.

표 6. 콘크리트의 調合과 아직굳지않은 콘크리트의 試驗 結果

| 배합명칭  | W/C (o/wt) | 잔골재율 (o/v%) | SP제 첨가율 (%) | 단위수량 (kg/m <sup>3</sup> ) | 절대용적 (ℓ/m <sup>3</sup> ) |     |     | 공기량 (%) | 슬럼프 (cm) |     | 플로우 다짐계수 (cm) | 단위용적량 (kg/m <sup>3</sup> ) | 비빔 온도 (°C) |       |      |
|-------|------------|-------------|-------------|---------------------------|--------------------------|-----|-----|---------|----------|-----|---------------|----------------------------|------------|-------|------|
|       |            |             |             |                           | 시멘트                      | 모래  | 자갈  |         | 첨가전      | 첨가후 |               |                            |            |       |      |
| Conv. | 25         | 20.0        | -           | 225                       | 286                      | 96  | 386 | 2.2     | 1.5      | -   | 34.0          | 0.762                      | 2,407      | 23.5  |      |
| 495B  |            |             |             | 124                       | 157                      | 213 | 496 | 2.2     | 0        | -   | 24.0          | 0.557                      | 2,086      | 22.5  |      |
| 495S  |            |             |             | 1.5                       | 124                      | 157 | 213 | 496     | 1.8      | 0   | 0.5           | 26.0                       | 0.613      | 2,336 | 23.0 |
| 575B  |            |             |             | -                         | 144                      | 183 | 199 | 464     | 1.9      | 0   | -             | 25.0                       | 0.757      | 2,364 | 23.0 |
| 575S  |            |             |             | 1.5                       | 144                      | 183 | 199 | 464     | 1.6      | 0   | 2             | 34.3                       | 0.792      | 2,436 | 23.5 |
| 655B  |            |             |             | -                         | 164                      | 208 | 185 | 433     | 1.9      | 0   | -             | 25.5                       | 0.761      | 2,379 | 23.0 |
| 655S  |            |             |             | 1.5                       | 164                      | 208 | 185 | 433     | 2.0      | 0   | 12            | 42.5                       | 0.967      | 2,443 | 23.0 |
| 735B  |            |             |             | -                         | 184                      | 233 | 172 | 401     | 1.5      | 0   | -             | 27.0                       | 0.779      | 2,336 | 23.5 |
| 735S  |            |             |             | 1.5                       | 184                      | 233 | 172 | 401     | 1.9      | 0   | 21            | 53.0                       | 0.974      | 3,407 | 23.0 |

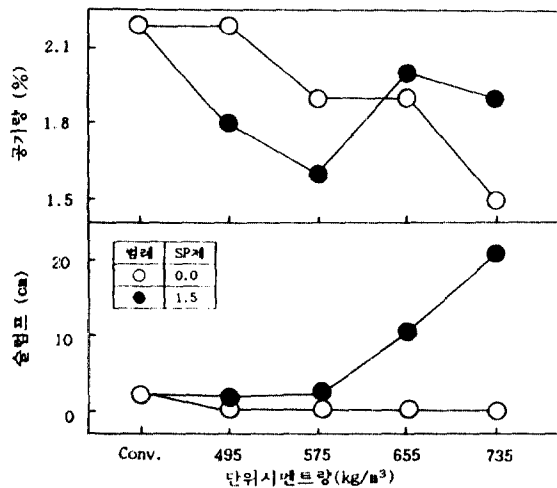


그림 2. 단위시멘트량과 공기량 슬럼프와의 관계

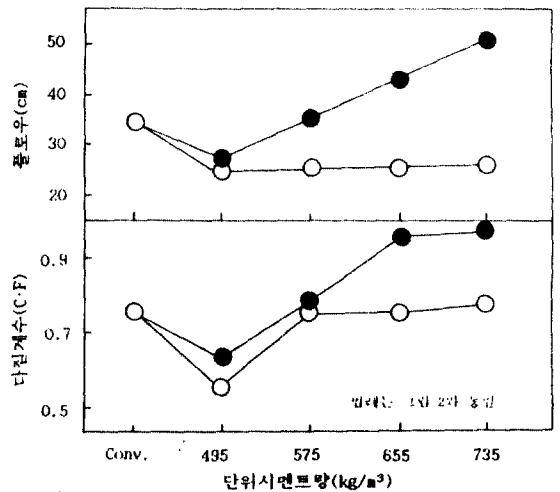


그림 3. 단위시멘트량과 플로우 다짐계수와의 관계

표 7. 硬化콘크리트의 試驗結果

| 배합명칭  | 단위시멘트량 (kg/m³) | 재령 (일) | 압축강도 (kg/cm²) |     | 인장강도 (kg/cm²) |    | 동탄성계수 (×10⁸kg/cm²) |      | 초음파 속도 (km/sec) |      | 반발도 (R.N) |    | 단위용적중량 (kg/m³) |      |
|-------|----------------|--------|---------------|-----|---------------|----|--------------------|------|-----------------|------|-----------|----|----------------|------|
|       |                |        | 수중            | 기건  | 수중            | 기건 | 수중                 | 기건   | 수중              | 기건   | 수중        | 기건 | 수중             | 기건   |
| Conv. | 900            | 7      | 442           | 458 | 28            | 31 | 3.63               | 3.65 | 4.09            | 3.82 | 45        | 45 | 2375           | 2357 |
|       |                | 28     | 508           | 490 | 33            | 31 | 3.86               | 3.74 | 4.40            | 4.28 | 46        | 46 | 2392           | 2341 |
|       |                | 60     | 554           | 534 | 35            | 33 | 3.99               | 3.99 | 4.43            | 4.41 | 46        | 46 | 2412           | 2355 |
|       |                | 90     | 610           | 588 | 38            | 34 | 3.93               | 3.94 | 4.45            | 4.30 | 46        | 47 | 2380           | 2352 |
| 495B  | 495            | 7      | 391           | 466 | 39            | 37 | 3.77               | 3.67 | 4.09            | 3.88 | 41        | 44 | 2424           | 2382 |
|       |                | 28     | 508           | 505 | 43            | 40 | 4.06               | 3.66 | 4.37            | 4.21 | 43        | 46 | 2440           | 2354 |
|       |                | 60     | 556           | 548 | 43            | 42 | 4.13               | 4.07 | 4.60            | 4.39 | 46        | 46 | 2429           | 2398 |
|       |                | 90     | 582           | 625 | 47            | 47 | 4.07               | 3.97 | 4.61            | 4.32 | 47        | 47 | 2426           | 2390 |
| 495S  | 495            | 7      | 574           | 542 | 41            | 41 | 4.04               | 3.95 | 4.15            | 3.92 | 47        | 46 | 2457           | 2402 |
|       |                | 28     | 701           | 652 | 49            | 43 | 4.35               | 4.47 | 4.62            | 4.29 | 48        | 46 | 2450           | 2416 |
|       |                | 60     | 711           | 690 | 49            | 43 | 4.33               | 4.32 | 4.68            | 4.43 | 49        | 46 | 2454           | 2409 |
|       |                | 90     | 800           | 709 | 52            | 48 | 4.52               | 4.50 | 4.73            | 4.51 | 49        | 40 | 2462           | 2400 |
| 575B  | 575            | 7      | 462           | 470 | 38            | 36 | 3.85               | 3.73 | 4.12            | 4.04 | 43        | 44 | 2452           | 2460 |
|       |                | 28     | 564           | 513 | 41            | 37 | 4.06               | 3.95 | 4.48            | 4.39 | 44        | 45 | 2431           | 2385 |
|       |                | 60     | 593           | 545 | 44            | 40 | 4.20               | 4.07 | 4.56            | 4.40 | 46        | 46 | 2436           | 2399 |
|       |                | 90     | 602           | 652 | 49            | 43 | 4.24               | 4.08 | 4.58            | 4.43 | 47        | 47 | 2436           | 2449 |
| 575S  | 575            | 7      | 584           | 583 | 44            | 37 | 4.26               | 4.08 | 4.15            | 3.94 | 46        | 42 | 2434           | 2436 |
|       |                | 28     | 708           | 681 | 46            | 40 | 4.39               | 4.22 | 4.47            | 4.37 | 46        | 44 | 2414           | 2443 |
|       |                | 60     | 740           | 670 | 47            | 46 | 4.45               | 4.35 | 4.64            | 4.63 | 47        | 45 | 2450           | 2422 |
|       |                | 90     | 751           | 701 | 55            | 58 | 4.77               | 4.48 | 4.66            | 4.64 | 48        | 46 | 2462           | 2424 |
| 655B  | 655            | 7      | 526           | 480 | 36            | 34 | 3.86               | 3.70 | 4.14            | 4.09 | 44        | 46 | 2378           | 2421 |
|       |                | 28     | 606           | 596 | 39            | 39 | 4.13               | 3.99 | 4.43            | 4.41 | 46        | 46 | 2432           | 2391 |
|       |                | 60     | 642           | 624 | 45            | 41 | 4.08               | 3.94 | 4.48            | 4.36 | 46        | 47 | 2375           | 2443 |
|       |                | 90     | 702           | 625 | 46            | 43 | 4.09               | 4.36 | 4.52            | 4.48 | 48        | 47 | 2412           | 2391 |
| 655S  | 655            | 7      | 556           | 590 | 40            | 36 | 4.02               | 4.08 | 4.13            | 3.98 | 45        | 45 | 2441           | 2409 |
|       |                | 28     | 707           | 720 | 42            | 40 | 4.14               | 4.19 | 4.48            | 4.35 | 46        | 45 | 2418           | 2405 |
|       |                | 60     | 807           | 750 | 53            | 47 | 4.37               | 4.32 | 4.59            | 4.46 | 48        | 46 | 2419           | 2447 |
|       |                | 90     | 817           | 768 | 54            | 49 | 4.38               | 4.32 | 4.63            | 4.46 | 50        | 47 | 2433           | 2440 |
| 735B  | 735            | 7      | 511           | 505 | 38            | 37 | 3.79               | 3.75 | 4.11            | 3.96 | 44        | 45 | 2427           | 2373 |
|       |                | 28     | 609           | 570 | 38            | 38 | 4.22               | 3.80 | 4.43            | 4.38 | 45        | 45 | 2415           | 2364 |
|       |                | 60     | 612           | 575 | 43            | 40 | 4.16               | 3.95 | 4.54            | 4.30 | 46        | 49 | 2410           | 2366 |
|       |                | 90     | 673           | 610 | 45            | 43 | 4.16               | 4.07 | 4.52            | 4.29 | 48        | 47 | 2411           | 2421 |
| 735S  | 735            | 7      | 654           | 604 | 37            | 41 | 3.93               | 4.11 | 4.11            | 3.98 | 47        | 43 | 2436           | 2387 |
|       |                | 28     | 756           | 680 | 44            | 43 | 4.20               | 4.19 | 4.49            | 4.36 | 49        | 46 | 2399           | 2408 |
|       |                | 60     | 763           | 707 | 45            | 46 | 4.29               | 4.25 | 4.64            | 4.48 | 50        | 47 | 2383           | 2434 |
|       |                | 90     | 824           | 768 | 47            | 52 | 4.29               | 4.33 | 4.58            | 4.42 | 50        | 47 | 2435           | 2421 |
|       |                | 180    | 850           | 798 | 52            | 54 | 4.44               | 4.46 | 4.69            | 4.76 | 51        | 47 | 2412           | 2415 |

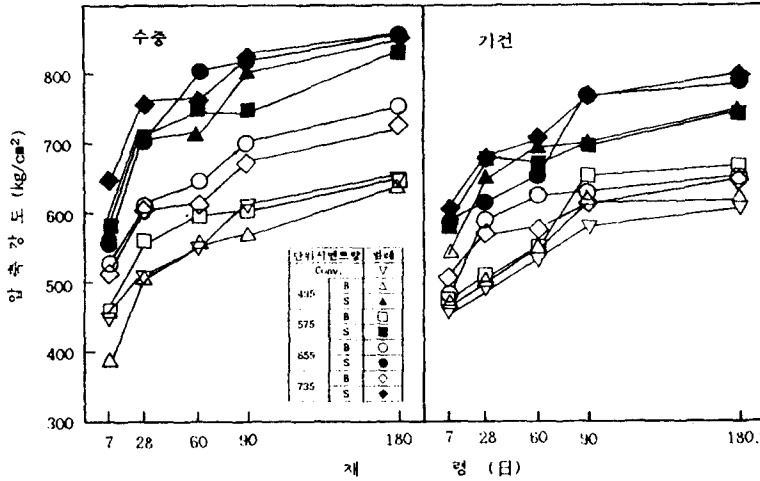


그림 4. 材齡과 콘크리트 壓縮強度와의 關係

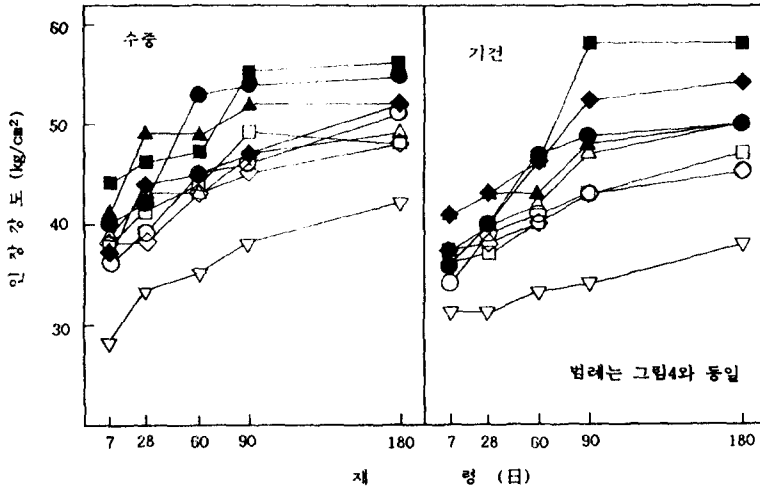


그림 5. 材齡과 콘크리트 引張強度와의 關係

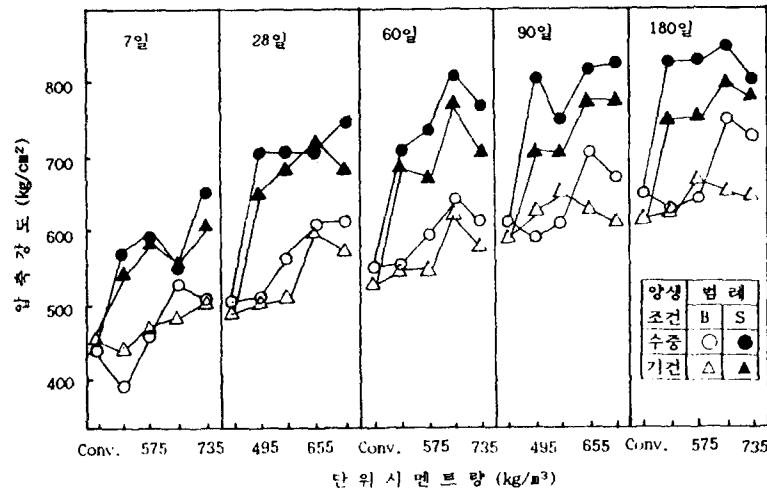


그림 6. 各 材齡別 단위시멘트량과 壓縮強度와의 關係

베이스콘크리트의 경우 流動性을 전혀 확보하지 못하고 있지만 高性能減水劑 첨가시 單位시멘트量  $655\text{kg/m}^3$ 의 경우 슬럼프 12cm, 플로우 42.5cm, 다짐係數 0.967로서 플라스틱(Plastic)한 콘크리트의水準을 보이고 있으나 현장 시공시의 작업성 확보라는 관점에서는 좀더 다각적인 研究가 行해져야 할 것으로 여겨진다.

### 3.2 硬化콘크리트의 物性

표7은 硬化콘크리트의 각종 試驗結果를 나타낸 것이고, 그림4는 材齡과 壓縮強度와의 關係를, 그림6은 材齡別 單位시멘트량과 壓縮強度와 關係를 도시한 것으로 그림에서 보는바와 같이 高性能減水劑의 添加는 콘크리트의 壓縮強度를 크게 증진시키고 있는데 이것은 高性能減水劑의 침가시 高性能減水劑의 分散作用 및 結晶化의 遲延作用으로 콘크리트內의 毛細空隙(Capillary Pore)의 크기 및 空隙率을 低下시킴과 物理的 作用으로서 다짐을 보다 충실히 行할 수 있기 때문이며, 이러한 高性能減水劑의 影響으로 材齡28日 이후에  $700\text{kg/cm}^2$  이상의 壓縮強度를 發現하고 있으며, 베이스콘크리트와의 強度차이는  $100\text{kg/cm}^2$  이상으로 나타났다. 또한 單位시멘트量  $900\text{kg/m}^3$ 를 사용한 콘벤셔널콘크리트보다는 베이스콘크리트 및 SP劑를 添加한 콘크리트가 거의 모든 경우에 있어서 壓縮強度가 크게 나타나고 있어 과도한 시멘트量의 使用은 壓縮強度에 오히려 不利한 影響을 끼침을 알 수 있다. 養生條件別로는 水中標準養生을 行한 경우가 氣乾養生의 경우보다 壓縮強度가 10~20% 더 높게 나타나고 있으며, 또한 28日 이후의 後期 材齡에서의 強度증진폭도

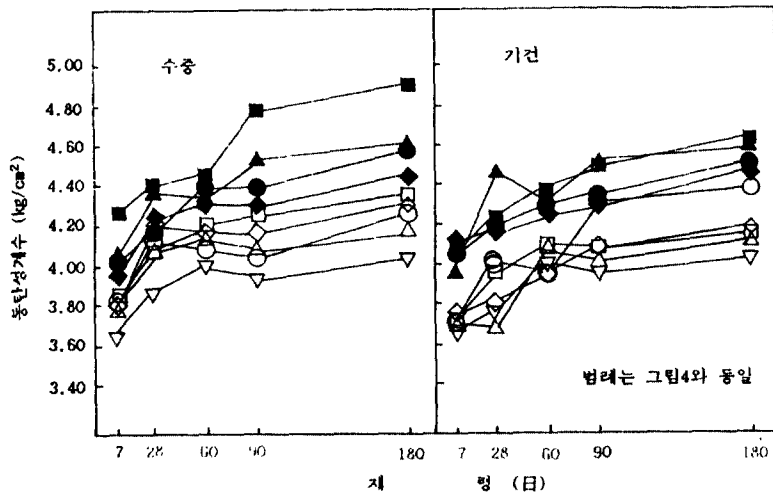


그림 7. 材齡과 콘크리트 동탄성계수의 관계

표 8. 28日 壓縮強度에 대한  
各 材齡別 強度發現 比率

| 조각/양식 | 양생 조건 | 7일 | 28일 | 60일 | 90일 | 180일 |
|-------|-------|----|-----|-----|-----|------|
| Conv. | 수중    | 87 | 100 | 109 | 120 | 128  |
|       | 기건    | 93 | 100 | 106 | 120 | 124  |
| 49SB  | 수중    | 76 | 100 | 109 | 114 | 124  |
|       | 기건    | 92 | 100 | 109 | 124 | 123  |
| 49FS  | 수중    | 82 | 100 | 101 | 114 | 119  |
|       | 기건    | 83 | 100 | 106 | 109 | 115  |
| 575H  | 수중    | 82 | 100 | 105 | 107 | 114  |
|       | 기건    | 92 | 100 | 106 | 127 | 130  |
| 575S  | 수중    | 82 | 100 | 105 | 105 | 118  |
|       | 기건    | 86 | 100 | 98  | 103 | 110  |
| 155H  | 수중    | 87 | 100 | 106 | 116 | 123  |
|       | 기건    | 81 | 100 | 105 | 105 | 112  |
| 655S  | 수중    | 79 | 100 | 114 | 116 | 121  |
|       | 기건    | 82 | 100 | 104 | 107 | 110  |
| 735B  | 수중    | 84 | 100 | 100 | 111 | 119  |
|       | 기건    | 89 | 100 | 101 | 107 | 112  |
| 735S  | 수중    | 87 | 100 | 101 | 109 | 112  |
|       | 기건    | 89 | 100 | 104 | 113 | 117  |

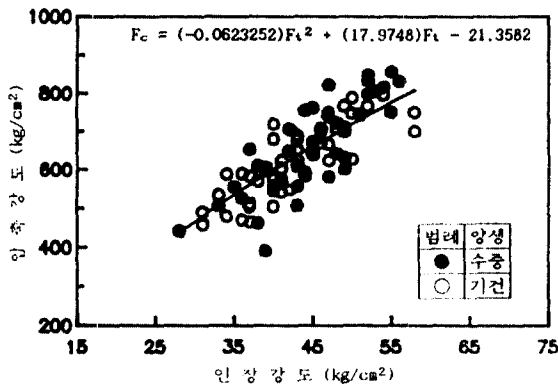


그림 8. 壓縮強度와 引張強度와의 관계

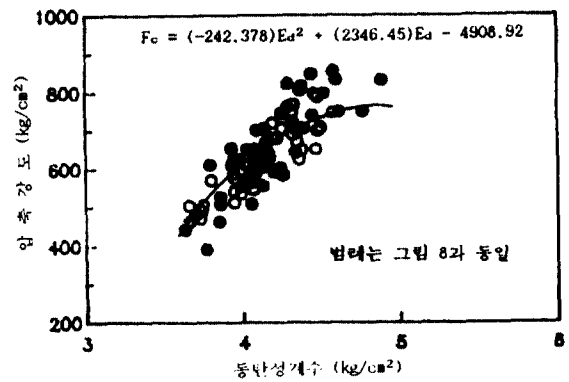


그림 9. 壓縮強度와 동탄성계수의 관계

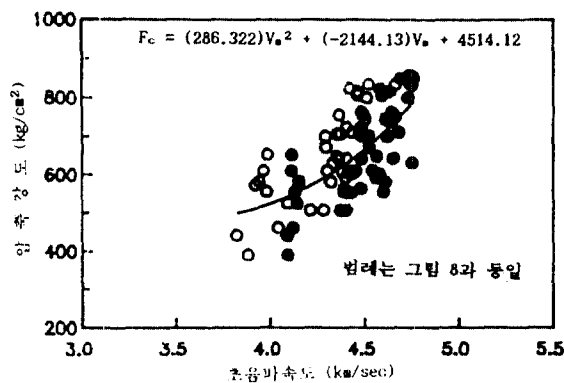


그림 10. 壓縮強度와 초음파속도와와의 관계

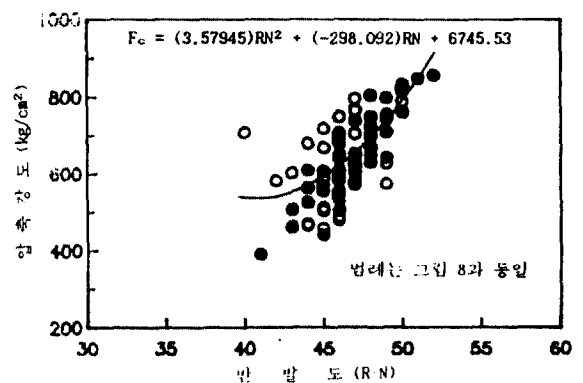


그림 11. 壓縮強度와 反應度와의 관계

水中標準養生의 경우가 약간 크게 나타나고 있다.

표 8은 28日 壓縮強度를 기준으로 하여 養生條件別로 各 材齡에서의 壓縮強度發現 比率을 나타낸 것으로 7日 強度發現比率이 28日 強度의 76~93%로서

기존의 연구자<sup>1)2)3)</sup>들이 발표한 수준과 비슷한 수치를 보이고 있으며, 單位시멘트量에 따른 유의할 만한 특징은 보이지 않고 있고, 養生條件에서는 氣乾養生의 경우가 좀더 早強化 傾向을 띠고 있다.

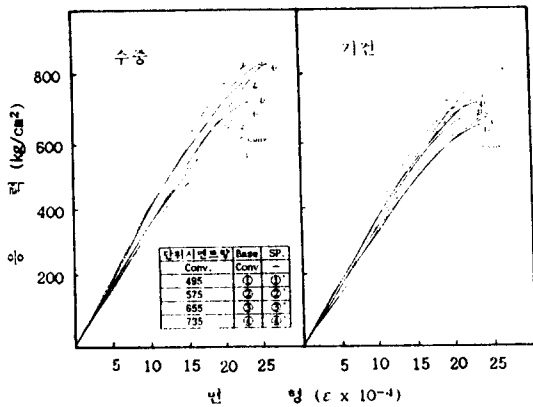


그림 12. 應力-變形曲線

그림5는 材齡과 引張強度와의 관계로서 材齡이 증가함에 따라서 引張強度도 增加하는 경향을 보이고 있으나 그 증진폭이 둔화하고 있다. 그림7은 材齡別 動彈性係數 增進性向을 보여주는 것으로 材齡에 따라 미약한 증진성향을 보이고 있고, 水中養生의 경우가 氣乾養生의 경우보다 크게 나타나고 있고, 高性能 減水劑를 첨가한 콘크리트가 베이스콘크리트의 경우보다 크게 나타나고 있어 壓縮強度와 유사한 경향을 보여주고 있다.

그림8은 壓縮強度와 引張強度와의 關係를, 그림9는 壓縮強度와 動彈性係數를, 그림10은 壓縮強度와 超音波速度를, 그림11은 壓縮強度와 反撥度の 關係를 나타낸 것으로 各種 非破壞 試驗의 測定値는 비교적 양호한 相關關係를 나타내고 있으며, 특히 압축강도와 인장강도와의 관계에서 압축강도 400~800kg/cm<sup>2</sup>의 범위에서 개략적으로  $F_c = (14 \sim 16) f_t$ 로 나타나고 있어 普通콘크리트의 경우와는 상이한 경향을 보여주고 있다. 또한, 養生條件에 따른 相關性의 차이는 비교적 크게 나타나고 있어 이에 대해서는 주의깊은 검토가 필요할 것으로 여겨진다.

그림12는 材齡90日에서의 應力-變形關係를 나타낸 것으로 壓縮強度 582kg/cm<sup>2</sup> 이상의 高強度콘크리트에서의 그 舉動 양상이 보다 낮은 強度를 갖는 普通콘크리트와는 매우 다른 경향을 보여주고 있다. 즉 高強度콘크리트는 원점으로부터의 기울기가 좀더 심하고, 선형거동한계가 크며, 최대 응력 도달시의 全變形量도 크게 된다. 또한 破壞點에 도달하는 變形量의 증가없이 급격히 파괴하는, 즉 塑性變形이 적어지는 경향을 보여준다.

#### 4. 系吉 論

高性能 減水劑를 사용한 高強度콘크리트의 物性에 미치는 單位시멘트량의 影響을 알아보기 위한 本 實驗 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 아직까지 않은 콘크리트의 空氣量은 單位시멘트량의 變化 및 SP劑의 첨가유무에 따라서는 거의 차이를 보이지 않고 있어 소요 空氣量 確保를 위해서는 AF劑를 보조적으로 사용할 필요가 있다고 생각되며, 高性能 減水劑 添加時 良好한 作業性 確保를 위해서는 單位시멘트량의 水準이 655kg/m<sup>3</sup> 전후에 있을 것으로 여겨지지만 좀더 다각적인 연구가 필요하다.

2) 高性能 減水劑의 使用으로 베이스콘크리트보다 100kg/cm<sup>2</sup> 이상의 壓縮強度를 증진시킬 수 있었으며, W/C 25%, 單位시멘트량 735kg/m<sup>3</sup>에서 材齡28日에 水中養生의 경우 756kg/cm<sup>2</sup>, 氣乾養生의 경우 680kg/cm<sup>2</sup>, 材齡180日에 水中養生인 경우 850kg/cm<sup>2</sup>, 氣乾養生의 경우 798kg/cm<sup>2</sup>의 높은 強度를 發現하는 高強度콘크리트를 제조할 수 있었다.

3) 單位시멘트량 900kg/m<sup>3</sup>를 사용한 콘크리트의 경우 베이스콘크리트 및 高性能 減水劑를 添加한 콘크리트에 비하여 보다 낮은 強度發現을 하고 있어 과도한 單位시멘트량이 壓縮強度에 불리한 影響을 주고 있음을 알 수 있고 本 實驗의 單位시멘트량 범위 (495~735kg/m<sup>3</sup>)에서는 655kg/m<sup>3</sup>의 경우가 가장 양호한 實驗值를 보이고 있다.

4) 養生條件이 콘크리트의 物性에 미치는 影響은 壓縮強度의 경우 水中標準養生의 경우가 氣乾養生의 경우보다 壓縮強度發現이 10~20% 크게 나타나고 있고, 그 외의 實驗值에서도 水中標準養生이 양호한 값을 보이고 있어, 水中標準養生이 氣乾養生보다 콘크리트의 物性에 유리한 영향을 끼칠 수 있다.

5) 壓縮強度 582kg/cm<sup>2</sup> 이상의 高強度콘크리트에서의 應力-變形曲線은 普通콘크리트에 비하여 초기경사가 좀더 심하고, 線形舉動限界가 크며, 최대 응력 도달시의 全變形量도 크고, 塑性變形이 적어 급격히 파괴하는 경향을 보여준다.

#### 參 考 文 獻

- 1) 金振晚, 南相顯, 金武漢 : 高性能 減水劑를 사용한 高強度콘크리트의 力學的 特性에 관한 實驗的研究, 大韓建築學會學術發表論文集, 第8卷, 第1號, 1988, 4
- 2) Henry G. Russell : High Strength Concrete, ACI, Detroit, 1985, pp.36~70
- 3) Ramon L. Carrasquillo, Floyd O. Slate, Arthur H. Nilson : Microcracking and Behavior of High Strength Concrete Subject to Short-Term Loading, ACI Journal, May-June, 1981
- 4) State-of-the-Art Report on High Strength Concrete : Reported by ACI Committee 363, ACI Journal, Title No.31-34, Jul-Aug, 1984, pp.364~411