

레디믹스트 콘크리트의 품질관리 프로그램 개발

최재진* · 박원태*

Computer Program for Quality Control of Ready Mixed Concrete

Jae Jin Choi* and Weon Tae Park*

요 약 콘크리트의 품질관리에 활용하기 위하여 콘크리트의 시멘트-물비와 압축강도의 상관식을 시험을 통하여 구하였다. 그리고 콘크리트의 공기량, 슬럼프 및 강도 시험결과를 데이터 베이스화 하고 $\bar{X}-R$ 관리도와 $X-Rs$ 관리도를 작성하는 기능 그리고 사용재료에 대한 각종 시험결과를 정리할 수 있는 데이터 시트 기능을 가진 품질관리 프로그램을 개발하였다. 또한 이 프로그램 속에는 콘크리트 시험 비비기를 할 때의 배합계산 및 콘크리트 관련 용어사전 기능을 포함시켰다.

Abstract To make practical application of mixing test results to concrete mix design, experimental tests of concrete were done and the relationship between cement- water ratio and compressive strength of concrete was obtained. A computer program which can be used for data base of air content, slump and compressive strength test results was developed. The program draws $\bar{X}-R$ or $X-Rs$ control charts and has data sheets for arrangement of material test results. The computer program also helps calculation of concrete mix proportions for mixing tests and contains dictionary of concrete technical terms.

Key Words: computer program, quality control, concrete, cement-water ratio, compressive strength

1. 서 론

우리 나라의 레디믹스트 콘크리트(이하 레미콘으로 약함)공업은 1965년 대한양회(1975년 쌍용양회와 합병)에서 서울의 西水庫에 배차 1기, 레미콘 트럭 15대로 레미콘 공장을 준공, 생산을 개시함으로써 시작되었다. 그 후 40년 가까운 세월이 지나는 동안 레미콘 산업은 비약적인 성장을 이룩하여 우리 나라 기간산업으로서의 중요한 위치를 차지하게 되었다[1].

레미콘은 시멘트, 골재, 물 및 혼화재료를 기본재료로 하여 만들어지는 것으로 품질변동이 클 경우 구조물의 안전성과 내구성에 중대한 문제를 야기할 수 있다. 따라서 콘크리트의 품질을 일정하게 유지시키기 위해서는 여러 요인들을 고려한 레미콘의 합리적인 배합설계와 더불어 편리하게 활용할 수 있는 레미콘 품질관리 프로그램의 개발이 필요하다[2].

한편 레미콘 배합은 그 공장에서 사용하는 재료를 사용한 시험에서 얻은 결과를 기준으로 정하는 것이 원칙이나 실제로는 그렇지 못한 경우가 많다. 특히 레미콘의 품질을 결정지을 수 있는 콘크리트의 시멘트-물비와 압축강도와의 관계식과 골재의 종류에 따른 배합수정

방법 등은 실정에 맞도록 정할 필요가 있다[3].

따라서 본 연구에서는 연구에 공동 참여한 업체에서 사용하고 있는 재료를 사용한 콘크리트 혼합 시험을 통하여, 콘크리트의 시멘트-물비와 압축강도의 상관관계를 구하였다. 그리고 레미콘 품질관리 프로그램으로서 콘크리트의 공기량, 슬럼프 및 강도 시험결과를 데이터 베이스화 하고 $\bar{X}-R$ 관리도와 $X-Rs$ 관리도를 작성하는 기능 그리고 시멘트와 골재 및 콘크리트의 각종 물성 시험결과를 정리할 수 있는 데이터 시트 기능을 가진 품질관리 프로그램을 개발하였다. 또한 이 프로그램은 콘크리트 시험 비비기를 할 때 배합의 결정 및 보정을 쉽게 할 수 있는 계산기능 및 콘크리트 관련 용어사전 기능을 가지도록 구성하였다.

2. 콘크리트의 시멘트-물비와 압축강도의 관계

레미콘 공장에서는 그 공장에서 사용하는 재료를 사용한 믹싱 시험 또는 기존의 시험실적 등을 분석하여 시멘트-물비와 강도와의 관계식을 구하여 배합설계를 하는 것이 필요하다. 따라서 이 관계식을 얻기 위하여 본 연구의 참여업체에서 사용하는 재료를 사용하여 콘크리트 믹싱 시험을 실시하였다.

시멘트는 H사의 비중 3.15, K강도 380 kgf/cm²의 보

*천안공업대학 토목공학과
Tel: 041-550-0351

Table 1. Chemical admixture

주성분	색상	비중	표준사용량	제조회사
나프탈렌계	암갈색	1.19	C × 0.3%	K社

Table 2. Physical properties of aggregate

구분	잔골재	굵은골재
비중	2.61	2.67
흡수율 (%)	0.93	0.78
단위중량 (kg/m ³)	1630	1560
조립률	2.82	6.65
마모율 (%)	-	21
유기불순물	합격	-
입도분포	규격 내	규격 내

통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 혼화제는 Table 1의 AE감수제를 사용하였다. 잔골재는 강모래를 사용하고 굵은골재는 최대치수 25 mm의 부순돌을 사용하였으며 골재의 물성 시험결과는 Table 2와 같다.

콘크리트 시험에는 Table 3에 나타낸 5종류의 배합을 사용하고 콘크리트의 슬럼프, 공기량 및 재령 7일과 28일의 압축강도를 6회 반복 시험하였으며 그 결과를 Table 4에 나타냈다. 콘크리트를 비빈 직후의 콘크리트의 평균 온도는 17°C이었다.

시멘트-물비는 소요의 강도와 내구성 등을 고려해서 정하여야 하며, 수밀을 요하는 구조물에서는 특히 콘크리트의 수밀성에 대해서도 고려해야 한다.

콘크리트의 압축강도를 기준으로 하여 시멘트-물비를 정할 경우 압축강도와 시멘트-물비와의 관계는 시험에 의하여 정하는 것이 원칙이다.

Table 4의 실험결과로부터 재령 28일 콘크리트의 압축강도(f_{28})와 시멘트-물비(C/W)의 관계를 구하면 식 (1)과 같다.

$$f_{28} = -154 + 222 C/W \quad (1)$$

콘크리트 표준시방서[4]는 구조물이 소규모이거나 높은 강도를 필요로 하지 않는 공사 등에서는 시험을 하지 않을 경우 혼화제를 쓰지 않고 보통포틀랜드시멘트로 만드는 콘크리트에 한하여 식 (2)와 식 (3)의 물-시멘트비(W/C)와 재령 28일 압축강도의 관계식으로 구한 물-시멘트비 중 작은 값을 사용해도 좋다고 하고 있다.

$$f_{28} = -210 + 215 C/W \quad (2)$$

$$W/C = \frac{61}{f_{28}/K + 0.34} (\%) \quad (3)$$

여기서 K; KS L 5105에 따라 시험한 재령 28일의 시멘트 K강도 (kgf/cm²)

Figure 1은 콘크리트의 재령 28일 압축강도와 시멘트-물비의 관계로서 본 시험에서 얻은 결과와 식 (2) 및 식 (3)을 그림으로 나타낸 것이다.

식 (2)는 종래에 토목분야에서 작은 규모로서 큰 강도를 필요로 하지 않는 공사 등에서 시험을 하지 않을 경우 시멘트-물비를 구할 때 사용한 식으로 보통포틀랜드시멘트를 쓰고 혼화제를 쓰지 않는 보통콘크리트에 적용하였다. 그런데 이 식은 품질관리가 만족스럽지 못한 곳에서의 시험결과까지를 포함하여 거의 최저선을 나타낸 것이기 때문에 경제적인 방법이 되지 못한다.

식 (3)은 당초 일본건축학회에서 제안한 식으로 현재 건축분야와 레미콘 공장 등에서 시멘트-물비를 구할 때 널리 사용하고 있는 식이다. 이때 K는 시멘트의 품질평가를 위한 모르타르의 압축강도시험으로 구한 값인데 일본과 우리나라는 그 시험방법에 대한 규정이 다르다.

우리 나라의 규격(KS L 5105)[5]에서는 시험에 사용하는 표준모래로서 주문진 향오리산 표준모래를 사용하고, 시멘트: 표준모래=1:2.45 중량비, 물-시멘트비=48.5%의 배합비로 시험하도록 규정하고 있으며, 1997년 이전의 일본 규격(JIS R 5201)[6]에서는 豊浦標準砂를 사용하고 시멘트: 표준모래=1:2 중량비, 물-시멘트비=65%로 시험하도록 규정되어 있다.

Table 3. Concrete mix proportions

배합 No.	설계기준강도 (kgf/cm ²)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	단위 재료량 (kgf/m ³)				
				물	시멘트	잔골재	굵은골재	AE감수제
1	180	12	4.5	176	293	859	952	0.88
2	210	12	4.5	179	327	825	951	0.98
3	240	12	4.5	180	356	795	954	1.07
4	270	12	4.5	181	387	765	956	1.16
5	300	12	4.5	181	418	736	958	1.25

Table 4. Concrete mixing test results

배합 No.	1차 시험				2차 시험				3차 시험			
	공기량 (%)	슬럼프 (cm)	압축강도(kgf/cm ²)		공기량 (%)	슬럼프 (cm)	압축강도(kgf/cm ²)		공기량 (%)	슬럼프 (cm)	압축강도(kgf/cm ²)	
			7일	28일			7일	28일			7일	28일
1	4.4	15.0	181	212	4.2	15.0	184	215	5.0	14.0	177	227
2	5.2	14.5	188	239	4.5	15.0	204	250	4.7	14.5	205	254
3	3.8	13.5	228	293	4.1	12.0	243	303	5.2	13.5	249	300
4	4.3	11.0	279	336	4.6	11.0	300	335	4.8	8.5	280	371
5	3.6	13.0	295	355	4.4	9.5	294	362	4.1	12.0	296	363

배합 No.	1차 시험				2차 시험				3차 시험			
	공기량 (%)	슬럼프 (cm)	압축강도(kgf/cm ²)		공기량 (%)	슬럼프 (cm)	압축강도(kgf/cm ²)		공기량 (%)	슬럼프 (cm)	압축강도(kgf/cm ²)	
			7일	28일			7일	28일			7일	28일
1	4.8	8.5	193	230	4.9	13.0	154	205	4.5	15.0	158	208
2	5.2	15.0	186	244	5.0	15.5	206	263	5.5	13.5	188	226
3	4.8	14.0	238	282	5.3	15.0	219	283	5.0	14.5	224	270
4	4.7	13.5	238	296	5.0	13.0	246	308	4.5	13.5	258	309
5	4.7	13.5	260	337	5.0	11.0	297	355	5.3	10.5	304	352

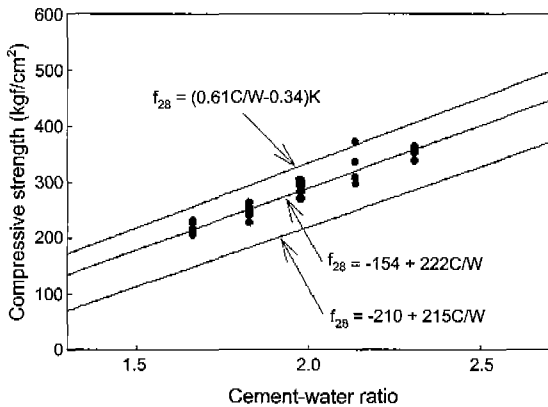


Figure 1. Relationship between 28 day compressive strength and cement-water ratio

Figure 2는 동일한 시멘트를 사용하여 KS L 5105(92)와 JIS R 5201(92)에서 규정한 방법에 따라 각각 재령 3일, 7일, 및 28일의 모르타르 압축강도를 측정하고 그 결과를 비교하여 나타낸 것이다.

이 그림으로부터 KS의 방법으로 측정된 시멘트 K강도는 JIS의 방법에 의한 것보다 높은 값을 나타냄을 보여준다. 따라서 각국의 규정에 따라 측정된 시멘트의 K강도는 상당한 차이가 있기 때문에 콘크리트의 배합설계에 있어 식 (3)을 사용하는 것은 문제가 있으며 각 레미

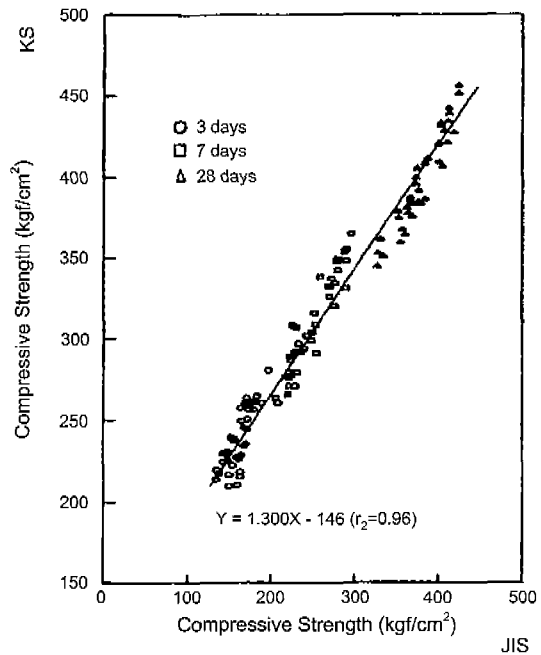


Figure 2. Comparison of mortar strengths tested by KS and JIS method

콘 공장의 실정에 맞게 시멘트-물비와 강도와의 관계식을 구하여 사용하는 것이 매우 중요한 일로 생각된다.

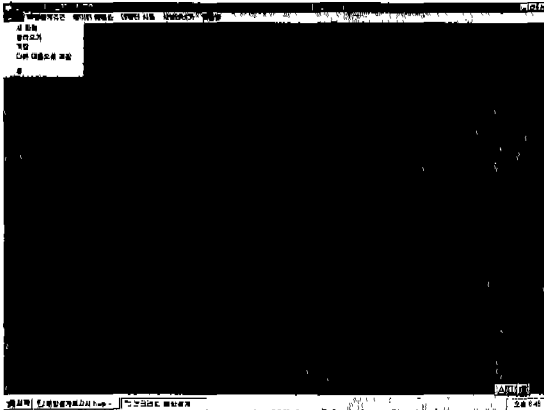


Figure 3. Initial menu

3. 레미콘 품질관리 프로그램

3.1 프로그램의 구성

본 프로그램[7]은 Visual Basic 5.0으로 작성하였으며 Figure 3은 초기화면으로 파일, 배합설계조건, 데이터베이스, 데이터 시트, 시험 비비기 및 도움말 메뉴로 구성하였다. 각각의 메뉴의 내용은 다음과 같다.

1. 파일: 새파일, 불러오기, 저장 등
2. 배합설계조건: 기본설계조건, 세부설계조건, 구조물 노출상태
3. 데이터 베이스 및 데이터 시트: 배합설계표, 각종재료시험 성적서
4. 시험 비비기
5. 도움말: 용어사전

3.2 배합설계를 위한 시험 비비기

실험실에서 콘크리트 혼합시험을 할 때 몇 회의 반복시험에 의해 요구조건의 배합을 찾게 된다. 시험 비비기 프로그램은 이러한 경우에 편리하게 이용할 수 있도록 한 것으로 배합조건 및 사용재료의 물성 등은 이전의 연구[2]에서와 같은 방법으로 설계조건을 입력받아 Figure 4의 시험 비비기 화면을 얻는다. 최초의 믹싱에 필요한 재료량이 그림의 1차 믹싱함에 나타나며, 이를 사용한 시험결과 즉, 슬럼프 측정값과 공기량 측정값이 설계조건과 다를 경우 그 측정값을 우측 난에 입력하고 잔골재율의 적정여부를 판단하여 적정 잔골재율을 기록한 다음 비비기를 클릭하면 2차 믹싱에 필요한 재료량이 자동 계산된다. 같은 방법으로 3차 믹싱까지 완료하면 Figure 5와 같이 최종적인 시방배합이 계산되기 때문에 콘크리트 믹싱시험을 할 때 편리하게 활용할 수 있을 것이다.

시험 비비기에서의 배합수정방법은 다음을 따랐다.

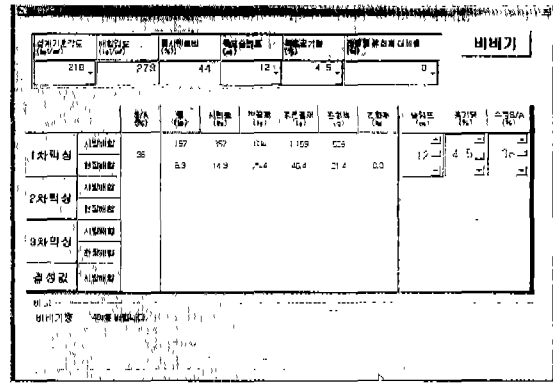


Figure 4. Beginning screen for test mixing

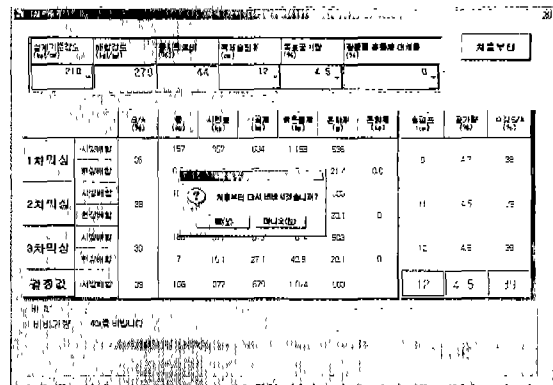


Figure 5. Final screen for test mixing

즉, 슬럼프값을 1 cm 크게(작게)할 때마다 단위수량을 1.2% 크게(작게)한다. 공기량을 1% 크게(작게)할 때는 잔골재율을 0.75%만큼 작게(크게) 하고, 단위수량은 3% 만큼 작게(크게) 한다. 그리고 잔골재율을 1% 만큼 크게(작게)할 때는 단위수량을 1.5 kg 크게(작게) 한다 [4].

Figure 6은 레미콘 배합 보고서를 인쇄한 예로서, 배합설계조건과 계산결과가 프린트된다.

3.3 데이터 베이스

품질관리 프로그램 속에는 콘크리트의 압축강도, 슬럼프, 공기량 및 온도측정 결과를 배합에 따라 데이터베이스화하여 지정한 기간 동안에 대한 측정값의 평균, 표준편차, 변동계수 등의 통계값을 구하고 \bar{X} -R 관리도, \bar{X} -Rs 관리도를 그릴 수 있는 기능을 갖도록 하였다.

레미콘 공장에서 압축강도의 관리를 위해서는 \bar{X} -R 관리도가 많이 사용되며, 공기량과 슬럼프 관리를 위해서는 \bar{X} -Rs 관리도가 많이 사용된다.

압축강도의 경우 굵은골재 최대치수, 설계기준강도 및 슬럼프의 종류에 따른 각각의 배합별 시험값을 구분

레디믹스트 콘크리트 배합보고서

비밀

시멘트 : 42.5급 배합비율 : 1:1.270:2.170:0.177	
시멘트 : 42.5급 물 : 142 모래 : 500 골재 : 1270	단위 : 1m ³ 시멘트 : 42.5급 물 : 142 모래 : 500 골재 : 1270
시멘트 : 42.5급 물 : 142 모래 : 500 골재 : 1270	단위 : 1m ³ 시멘트 : 42.5급 물 : 142 모래 : 500 골재 : 1270

Figure 6. Mixture report of ready-mixed concrete

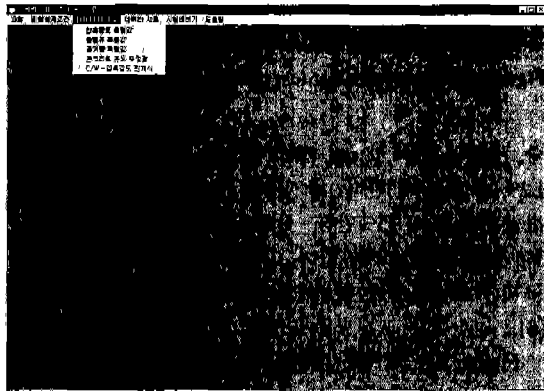


Figure 7. Data base menu

하여 저장하도록 하였다. 또 시멘트-물비와 압축강도의 관계를 그림으로 나타내고 직선회귀식을 구하는 기능을 갖도록 하였다.

Figure 7은 데이터 베이스로 들어가는 화면을 보인 것이며 Figure 8은 압축강도 측정치의 통계값과 X-Rs 관리도를 그린 예를 보인 것이다. 또 Figure 9와 Figure 10은 각각 시멘트-물비와 압축강도의 직선회귀식을 구하기 위한 자료의 입력 및 계산 예를 보인 것으로 굵은 골재 최대치수 및 AE콘크리트 또는 Non-AE콘크리트로 구분하였다.

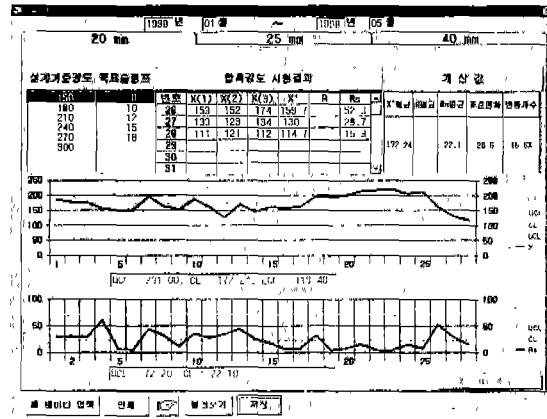


Figure 8. Example of strength test results and control chart

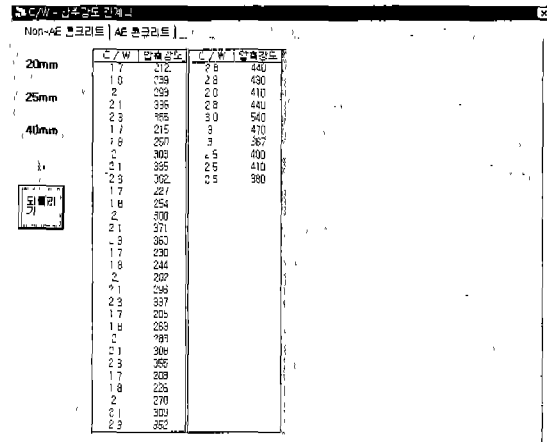


Figure 9. Example of data input for linear regression

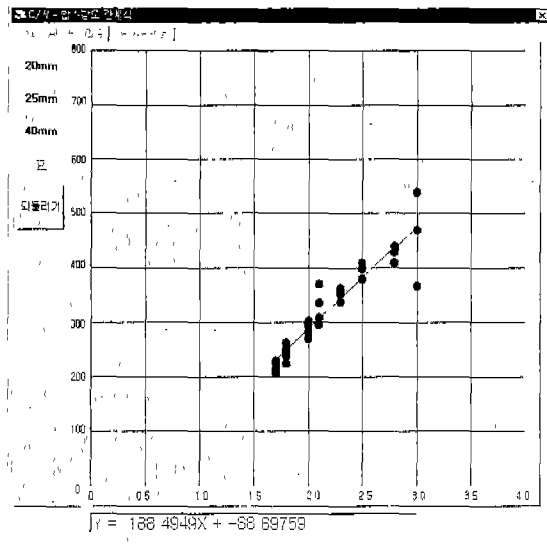


Figure 10. Example of regression analysis

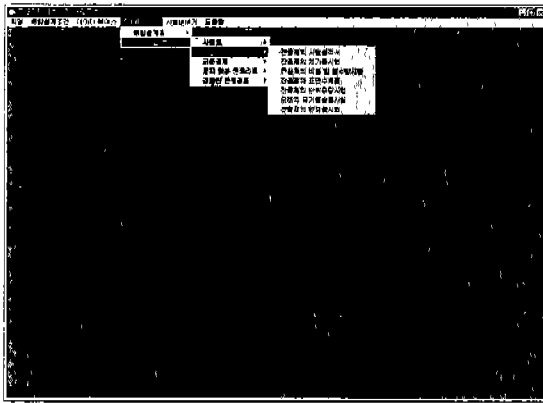


Figure 11. Data sheet

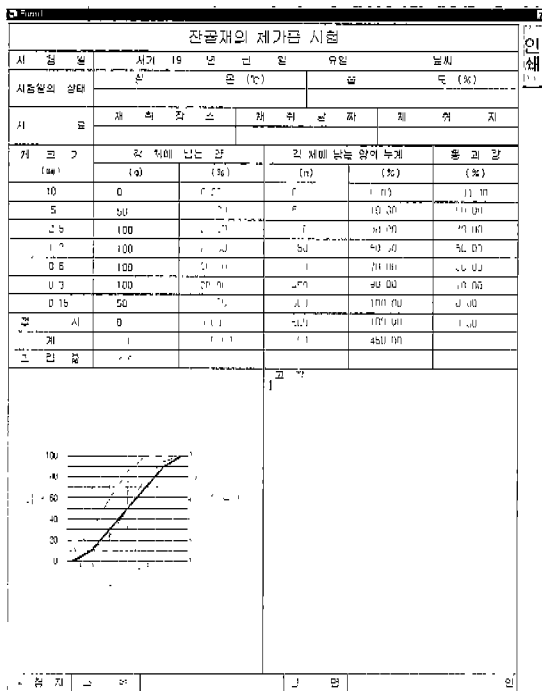


Figure 12. Data sheet for analysis of aggregate grading

3.4 각종 데이터 시트

콘크리트의 제조에 사용되는 시멘트, 잔골재, 굵은골재의 각종 특성 및 균치 않은 콘크리트와 경화한 콘크리트의 시험 결과를 각각 정리하여 나타내는 데이터 시트 기능을 갖도록 하였다.

Figure 11은 사용재료중 잔골재의 데이터 시트의 내용을 보인 것이며, Figure 12는 잔골재의 입도분석 예로서 각 체의 잔류량 만을 입력받아 잔골재의 조립률의 계산 및 입도분포를 자동으로 그린 화면을 나타낸 것이다.

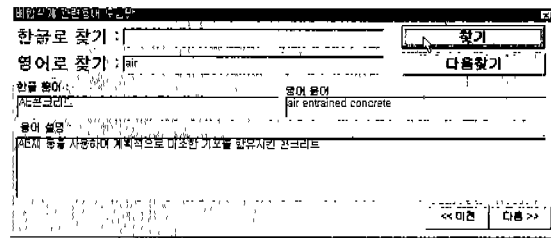


Figure 13. Dictionary of concrete technical terms

3.5 기타

콘크리트에 관한 용어를 영어나 한글로 입력받아 그 설명을 볼 수 있도록 하고 찾는 단어뿐만 아니라 그 단어를 포함한 다른 용어의 설명도 볼 수 있도록 하였다 (Figure 13 참조).

4. 결 론

(1) 레미콘 공장의 사용재료로서 콘크리트 믹싱시험을 하여 얻은 목표공기량 4.5%일 때의 시멘트-물비(C/W)와 재령 28일의 압축강도(f_{28})의 관계식은 다음과 같다.

$$f_{28} = -154 + 222 C/W$$

(2) 일본건축학회에 의해 제안된 시멘트-물비와 강도의 관계식은 시멘트 K강도의 측정방법에 대한 규정이 우리나라와 일본이 서로 다르기 때문에 국내에서의 적용을 위해서는 시험방법에 따른 K값의 변화를 고려해야 한다.

(3) 콘크리트 물성시험 결과를 데이터 베이스화하고 각종 데이터 시트와 관리도 작성, 콘크리트 시험 비비기를 위한 배합계산 및 용어사전 기능 등을 가지는 레미콘 품질관리 프로그램을 개발하였다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청과 충청남도가 주관한 1998년도 산학연 공동기술개발 지역혁신사업 사업의 지원을 받아 (주)주일과 공동 개발한 연구성과의 일부로서, 레디믹스트 콘크리트의 품질관리 프로그램의 개발에 대한 것이다. 이 프로그램은 콘크리트의 품질관리를 용이하게 함으로써 시간절약 및 품질개선에도 도움이 될 것으로 기대된다(Tel : 041-550-0351).

참고문헌

[1] 최재진, “레미콘의 운반 및 타설,” 콘크리트학회지, Vol.3, No.4, pp. 16-22, 1991. 12.
 [2] 최재진, “콘크리트 배합설계 프로그램 개발 연구,” 산학

- 기술성공학회논문지, Vol.1, No.1, pp. 63-72, 2000.
- [3] 한천구, 콘크리트의 특성과 배합설계, 기문당, pp. 141-143, 1999.
- [4] 건설교통부, 콘크리트 표준시방서, 1999.
- [5] KS L 5105 (수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법), 1992.
- [6] JIS R 5201 (セメントの物理試験方法), 1992.
- [7] 한국소프트웨어진흥원 (프로그램 등록번호: 99-01-12-2365).