

S.E.C 방식에 의한 콘크리트의 混合效果에 관한 研究

Effect of S.E.C Mixing on the Properties of Concrete

김기형*·박원태**·최재진**

Ki-Hyung Kim · Won-Tae Park · Jae-Jin Choi

(1996년 12월 2일 접수, 1997년 6월 10일 채택)

ABSTRACT

Conventional concrete mixing method is to put all of the materials simultaneously into a mixer and mix for a required time. However, recently concrete researchers have reported that mixing sequence influences the properties of concrete. This study discusses the influence of mixing sequence and partitioning addition of mixing water. Concrete, by method of partitioning addition of mixing water, was found to have substantially stronger strength than conventional concrete with the same water-cement ratio. This means that a higher strength concrete could be obtained by using "Sand Enveloped with Cement"(S.E.C) mixing technique. Both a high bond strength between cement paste and aggregate, and elimination of bleeding both contribute to improving the strength of S.E.C concrete.

1. 서 론

콘크리트의 품질은 사용재료의 특성, 혼합, 타설 및 양생방법 등 많은 요인에 의해 변화하며, 강도발현의 부족으로 안전사고의 원인이 되는 일도 있다. 따라서 품질은 곧 안전이라는 인식이 필요하며 특히 콘크리트는 중량물로서 대부분 힘을 받는 구조용으로 사용되기 때문에 건설공사에서의 콘크리트의 품질관리는 안전확보의 측면에서도 중요한 일이라고 생각된다.

콘크리트의 품질에 영향을 미치는 요인중 혼합 방법은 그 영향을 소홀히 생각하는 경향이 있다. 그러나 콘크리트의 혼합방법 즉, 믹서의 종류, 재료의 투입순서, 혼합시간, 혼합시의 온도 등이 변화하면 콘크리트의 성질이 변화하는 것으로 알려져 있다. 이중 믹서의 종류, 혼합시간 또는 혼합시의 온도 등의 영향 등에 대해서는 비교적 명확히 밝혀져 있지만¹⁾ 재료의 투입순서에 대하여 상세히 검토된 보고는 많지 않으며 또 그 결과가 반드시 일치하는 것도 아니다²⁾.

* 여주전문대학 토목과

** 천안공업전문대학 토목과

일반적으로는 콘크리트를 제조하는 경우 시멘트, 잔골재, 굵은골재, 물 등의 재료를 거의 동시에 믹서에 투입하여 혼합하는 방법이 채택되고 있다. 그런데 콘크리트 재료중 물은 골재의 표면수로서 믹서에 혼합되는 물과 저장조 등으로부터 직접 믹서에 투입되는 물로 대별된다. 이 때문에 믹서에 투입되는 수량은 시방배합에서 정한 수량으로부터 골재의 표면수량을 감한 양이 되며, 결과적으로 믹서에 투입되는 전체 수량이 같으면 콘크리트의 품질은 일정한 것으로 생각해 왔다. 그러나 최근에 콘크리트 재료를 믹서에 동시에 투입하지 않고 물을 분할첨가하여 투입하거나 잔골재의 표면수량을 적절하게 유지시킴으로써 콘크리트의 품질을 개량할 수 있다는 보고가 발표되고 있는데 이러한 혼합방법을 S.E.C(Sand Enveloped with Cement)방식이라고 한다^{3~6)}.

이 혼합방법을 실제공사에서 사용함으로써 종래의 동시혼합방법에 비해 보다 좋은 결과가 얻어졌다는 보고가 있으며, 슛크리트에 적용한 경우에는 높은 강도가 얻어지고 더스트(dust)와 리바운드(rebound)량이 크게 감소된다고 한다^{7,8)}. 그러나 이러한 효과를 얻은 현장에서는 sand controller라고 하는 잔골재의 표면수 조정장치를 사용하는 경우가 많기 때문에 S.E.C 방식의 효과가 특수한 조건하에서만 나타나는 것이 아닌가 하는 의문이 있었다. 또한 국내에서는 sand controller가 사용되고 있지 않으며 S.E.C 방식의 효과가 검토된 일이 없기 때문에 S.E.C 방식의 효과가 특수한 장치를 사용하지 않는 일반적인 콘크리트 제조과정에서도 나타나는지에 대해서 확인할 필요가 있다고 본다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 널리 사용되고 있는 강제식 믹서를 사용하여 S.E.C 방식과 종래의 동시혼합방법에 의해 제조한 콘크리트의 물성을 비교하기 위한 실험을 계획하였다. 그리고 콘크리트의 압축강도의 실험결과에 대해서는 분산분석을 실시하여 혼합방법에 따른 효과가 통계적으로 유의한지의 여부에 대해서도 검토하였다.

2. 실험방법

2.1 사용재료 및 콘크리트의 배합

2.2.1 사용재료

시멘트는 비중 3.15의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다. 잔골재는 비중 2.58, 흡수율 1.7%, 조립율 2.56의 하천모래를 사용하였고 굵은골재는 최대치수 25mm, 비중 2.62의 자갈을 사용하였다.

2.2.2 콘크리트 배합

실험에 사용한 배합은 Table 1에 나타낸 바와 같이 단위시멘트량 3수준(300, 350, 400kg/m³), 단위수량 2수준(180, 200kg/m³)으로 하였다.

Table 1 Mix proportions of concrete

mix no.	W/C (%)	S/a (%)	unit weight (kg/m ³)			
			water	cement	sand	gravel
1	60.0	42	180	300	769	1079
2	66.7	43	200	300	765	1030
3	51.4	40	180	350	716	1091
4	57.1	41	200	350	713	1042
5	45.0	39	180	400	682	1084
6	50.0	40	200	400	679	1034

2.2 실험방법

2.2.1 혼합방법

S.E.C 방식에 의한 콘크리트의 혼합은 잔골재와 굵은골재를 사용수의 일부(1차수)와 함께 믹서에 넣어 30초 동안 혼합한 다음 시멘트를 넣고 다시 30초간 혼합한 후 나머지의 사용수(2차수)를 넣고 1분30초간 혼합하는 방법으로 모두 2분30초간 혼합하였다. 그리고 종래의 방식으로 혼합한 콘크리트는 혼합수를 1차수와 2차수로 구분하여 사용하지 않고 전재료를 동시에 믹서에 투입한 후 2분간 혼합하여 제조하였다. 콘크리트는 모두 표면건조포화상태의 골재를 사용하여 제조하였다.

혼합에는 용량 100ℓ, 혼합날개의 회전속도 30rpm의 강제식 믹서를 사용하였으며 콘크리트의 혼합량은 50ℓ로 하였다.

2.2.2 실험내용

콘크리트의 물성실험은 한국산업규격의 시험방법에 따라 블리딩, 압축강도(재령 3일, 7일, 28일) 및 인장강도(재령 28일)를 측정하였다.

그리고 혼합방법에 따른 강도의 유의차를 검정하기 위하여 압축강도와 인장강도에 대하여 SAS 프로그램을 이용하여 분산분석을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 1차수량이 콘크리트의 블리딩에 미치는 영향

단위시멘트량 $300\text{kg}/\text{m}^3$, 단위수량 180 및 $200\text{kg}/\text{m}^3$ 의 배합을 블리딩시험한 결과가 Fig. 1이다. 이때 물은 종래의 방식으로 한 번에 전량 투입(control)한 것과 1차수량을 변화시켜 1차수량과 시멘트량의 중량비(W1/C)를 10%에서 60%까지 10% 간격으로 변화시킨 S.E.C 방식으로 실험하였다.

이 그림에서 S.E.C 방식은 종래의 방식에 비해 블리딩량이 감소되며 블리딩이 최소가 되는 1차수량과 단위시멘트량의 비는 20%~40%의 범위로 매우 폭이 큰 것을 알 수 있다. 다른 연구결과^{9,10)}에서는 1차수량과 단위시멘트량의 비가 20~30% 일 때 블리딩이 최소가 된다고 하고 있어 대체로 본 실험결과와 유사한 경향을 보고하고 있다. Fig. 2는 종래의 방식에 의한 것과 1차수량과 단위시멘트량의 비를 30%로 하였을 때의 블리딩 시험결과를 비교하여 나타낸 것이다. 이 그림에 의하면 종래의 방식에 비해 S.E.C 방식을 사용할 경우 블리딩은 30% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 이는 다른 연구¹¹⁾에서 S.E.C 방식을 사용하는 경우 블리딩이 50% 정도로 감소된다는 보고와 비교할 때 그에는 미치지 못하나 S.E.C 방식의 블리딩 감소효과는 매우 큰 것을 보여준다.

한편 Fig. 3은 물-시멘트비 50%, 시멘트와 표준사의 비 1:2의 모르타를 S.E.C 방식과 동시혼합 방법에 의해 제조하여 비이커에 담고 그 위에 추를 놓아 그것이 침하한 모양을 비교한 사진이다. 이 사진에서 추의 침하량은 동시혼합방법보다 S.E.C 방식으로 혼합한 모르타에서 감소된 것을 보여준다. 따라서 S.E.C 방식으로 혼합한 콘크리트는 블리딩이 감소될 뿐 아니라 굵은골재의 침하량도 감소되어 결과적으로 재료분리에 대한 저항성이 개선되는 것으로 판단된다.

3.2 혼합방식이 강도에 미치는 영향

Table 1에 나타낸 6종류의 배합에 대하여 종래의 동시혼합방법과 S.E.C 방식의 혼합방법으로 콘크리트를 제조한 다음 소정기간 양생한 후 압축

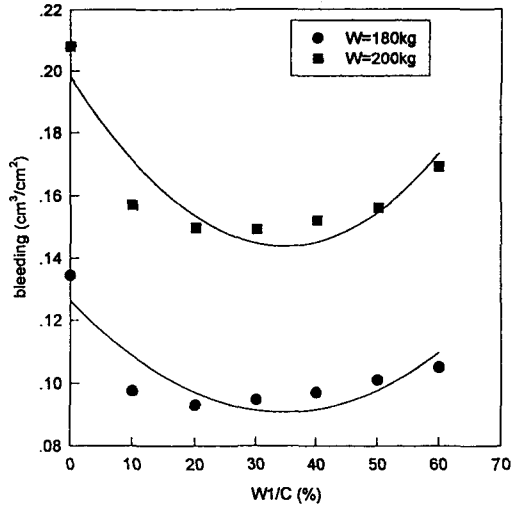


Fig. 1 Bleeding of concrete according to W1/C

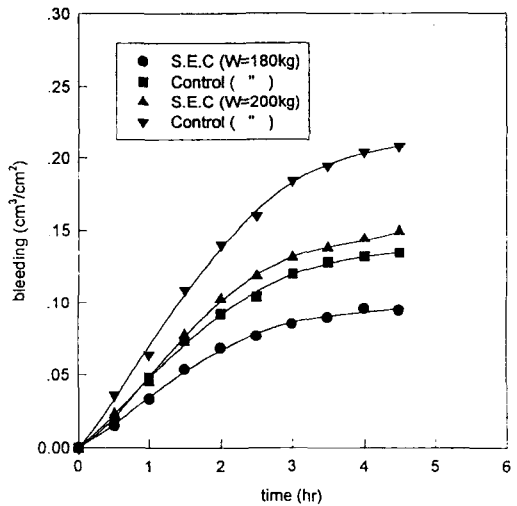


Fig. 2 Bleeding of S.E.C and conventional concrete

강도와 인장강도를 측정하는 실험을 2회 반복하여 각각 24개씩의 데이터를 얻었다. 그리고 그 결과로서 시멘트-물비 및 혼합방식에 따른 콘크리트 재령 3일, 7일, 28일의 압축강도에 대한 분산분석을 실시한 결과가 Table 2이며, 재령 28일의 인장강도에 대한 분산분석을 실시한 결과가 Table 3이다. 여기서 S.E.C 방식으로 혼합할 때 1차수와 단위시멘트량의 비(W1/C)는 30%로 하였다.

Table 2에서는 당연한 결과로서 콘크리트의 압

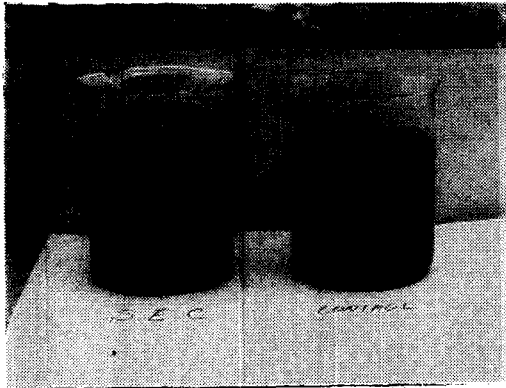


Fig. 3 Settlement of a weight in mortar

Table 2 Analysis of variance (compressive strength)

Age	Source	df	SS	MS	F	Signif. of F
3days	total	23	13957			
	C/W ratio	5	13301	2660	72.9	0.0001
	mixing method	1	35	35	1.0	0.3408
	error	17	620	36.5		
7days	total	23	18832			
	C/W ratio	5	17603	3521	50.1	0.0001
	mixing method	1	198	198	3.3	0.0882
	error	17	1031	60.6		
28days	total	23	35132			
	C/W ratio	5	33723	6745	131	0.0001
	mixing method	1	532	532	10.3	0.0051
	error	17	876	51.5		

Table 3 Analysis of variance (tensile strength)

Age	Source	df	SS	MS	F	Signif. of F
28days	total	23	504			
	C/W ratio	5	471	94	59.3	0.0001
	mixing method	1	6.0	6.0	3.8	0.0687
	error	17	27	1.6		

축강도에 대한 시멘트-물비의 영향은 고도로 유의하며, 혼합방법의 영향은 재령 3일의 경우 유의하지 않았으나 재령 7일에서는 유의수준 9%를 나타냈고 재령 28일에는 유의수준 0.5%를 나타내 재령이 증가할수록 혼합방법이 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향이 분명하게 나타나고 있다. 초기재령에서 혼합방법에 따른 압축강도의 차이가 분명하게 나타나지 않은 것은 초기의 강도가 다른 시험조

건 즉, 작은 온도의 변화 등에 의해서도 그 영향을 민감하게 받기 때문에 강도측정치의 변동이 큰 데 기인한 결과로 생각된다.

재령 28일의 인장강도에 대한 분산분석결과인 Table 3을 보면 혼합방법에 따른 강도차의 유의수준은 7%를 나타냈다. 따라서 같은 재령의 압축강도에서 보였던 유의수준과는 상당한 차이를 보임으로써 S.E.C 방식으로 혼합한 콘크리트의 압축강도가 개선되는 효과가 명확한 반면에 인장강도의 개선효과는 명확하지 않은 것으로 나타났다.

Fig. 4는 혼합방법에 따른 시멘트-물비(C/W)와 재령 28일의 압축강도(F28)의 관계를 나타낸 것으로 C/W가 1.5~2.2의 범위에서 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

종래의 혼합방법 :

$$F28 = -50.34 + 159.9C/W (r^2 = 0.960)$$

S.E.C 방식 :

$$F28 = -48.95 + 154.1C/W (r^2 = 0.953)$$

이 그림에서 같은 시멘트-물비에서의 압축강도는 종래의 동시혼합방법보다 S.E.C 방식에 의한 콘크리트의 압축강도가 약 5% 정도 높은 것을 보여준다.

이같은 결과는 같은 시멘트-물비에서 종래의 방식에 비해 S.E.C 방식으로 혼합한 경우 콘크리트의 28일 재령의 압축강도가 8~10% 정도 증가하였

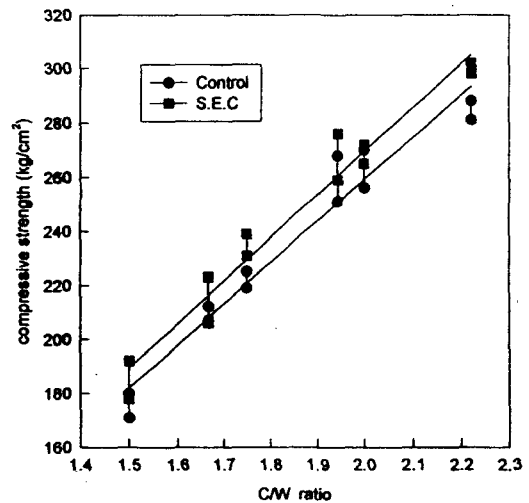


Fig. 4 28day compressive strength vs. C/W

다는 다른 보고^{9,12)}와는 얼마간의 차이가 있는데

이는 골재의 종류나 믹서의 종류와 성능 등에 따라서 S.E.C 방식의 효과에 차이가 있을 수 있음을 나타내는 결과로 생각된다.

Fig. 5는 재령 3일의 압축강도(F3)와 재령 28일의 압축강도(F28)의 관계를 나타낸 것이며, Fig. 6은 재령 7일의 압축강도(F7)와 재령 28일의 압축강도의 관계를 나타낸 것이다. 이들의 관계를 혼합방법에 따라 구분하지 않고 식으로 쓰면 각각 다음과 같다.

$$F28 = 74.3 + 1.511F3 (r^2 = 0.908)$$

$$F28 = 18.7 + 1.329F7 (r^2 = 0.947)$$

재령 3일과 재령 28일의 관계 및 재령 7일과 재령 28일의 강도의 관계는 두가지의 혼합방법에서 모두 결정계수 r^2 의 값이 0.9 이상으로 높은 상관성을 보였다.

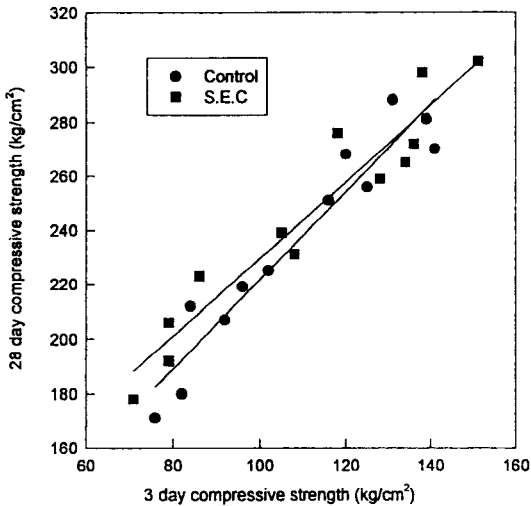


Fig. 5 3day compressive strength vs. 28day compressive strength

Fig. 7은 시멘트-물비와 재령 28일의 인장강도의 관계를 나타낸 것으로 같은 시멘트-물비에서 인장강도는 종래의 혼합방법에 비해 S.E.C 방식의 경우 다소 높아지는 경향을 보여주고 있다. 그러나 C/W 1.5~2.2의 범위에서 혼합방법을 구분하지 않고 시멘트-물비(C/W)와 인장강도(T28)의 관계를 하나의 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$T28 = -0.11 + 18.2C/W (r^2 = 0.886)$$

Fig. 8은 재령과 압축강도비(재령 28일의 압축강도에 대한 비)의 관계를 나타낸 것으로 재령(t)

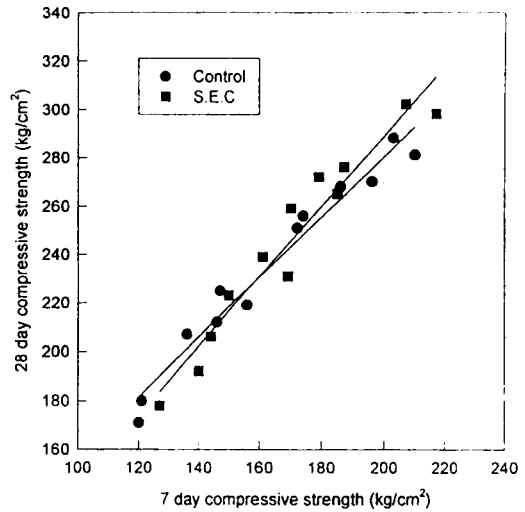


Fig. 6 7day compressive strength vs. 28 day compressive strength

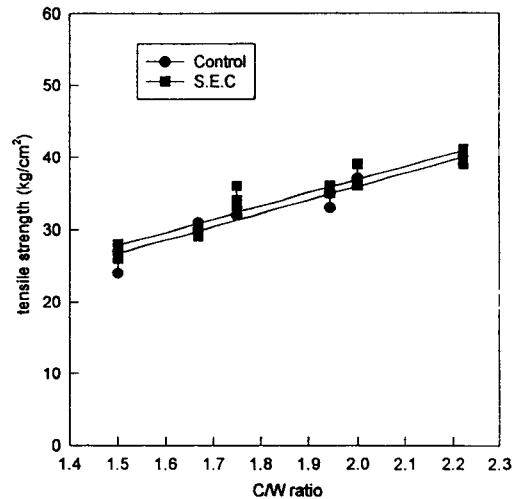


Fig. 7 28day tensile strength vs. C/W

과 압축강도비(Y)의 관계는 28일 재령 이내에서 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$Y = 20.02 + 55.83 \log_{10} t (r^2 = 0.981)$$

3.3 S.E.C 방식의 강도증진기구

S.E.C 방식으로 혼합할 때의 콘크리트의 강도 증진은 일차적으로 블리딩의 감소와 재료분리에 대한 저항성의 증가에 의한 것으로 보인다. 이때

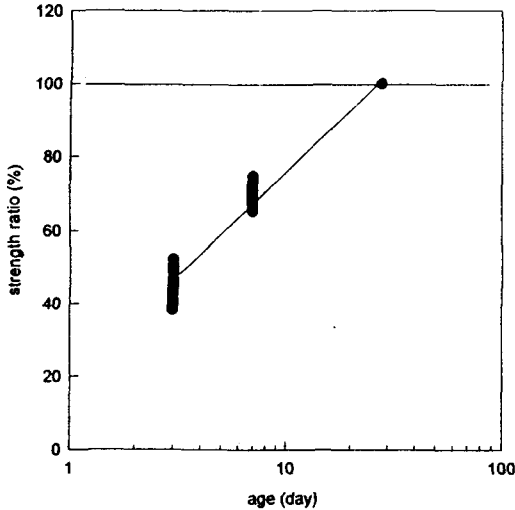


Fig. 8 Compressive strength ratio according to age

콘크리트 강도의 증가는 블리딩의 감소에 의해 모르타의 압축강도가 증가하여 생긴 것이라기 보다는 굵은골재의 밑쪽에 생기는 공극이 감소하여 나타난 결과로 생각된다. 이를 뒷받침하는 결과로서 시멘트풀에 대한 실험에서는 블리딩이 커서 실질적인 물-시멘트비가 작게 되는 경우 압축강도가 크게 되며 모르타의 경우도 시멘트풀의 경우와 거의 같은 경향을 나타낸다고 보고되고 있다¹⁾.

또한 S.E.C 방식에서 콘크리트의 강도가 증가 되는 원리는 Fig. 9의 모델로 설명할 수 있다. S.E.C 방식으로 콘크리트를 혼합하는 경우 1차수에 의해 골재에 표면수를 가지게 함으로써 시멘트 입자가 부착하여 캐필러리 상태의 물-시멘트비가 작고 점착성이 높은 시멘트풀 층이 골재 주변에 형성되며 다시 2차수를 투입하여 혼합함으로써 골재에 직접 부착되어 있지 않은 시멘트풀은 슬러리 상태가 되어 블리딩과 재료분리가 적고 압축강도가 높은 콘크리트가 얻어지는 것으로 생각된다.

한편 魚本⁹⁾에 의하면 종래의 동시혼합방식에서도 잔골재의 표면수량을 5%로 한 경우에 S.E.C 방식에서의 강도증진 효과가 있음을 보고하고 있어 S.E.C 방식에서의 강도증진효과는 1차수에 의한 골재주변의 표면수가 부착력이 강한 시멘트풀 층을 형성시킴으로써 나타난 결과임을 뒷받침하고 있다.

S.E.C 방식의 효과는 가경식 믹서를 사용한 경우에도 나타난다고 한다¹³⁾. 그러나 다른 재료를 1

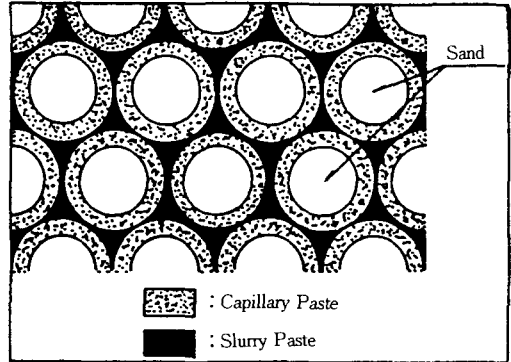


Fig. 9 S. E. C model⁷⁾

차수와 혼합할 때 전력부하가 크며, 또 골재표면에 균일한 시멘트풀 층을 만들기 위하여 믹서는 믹싱효율이 높은 강제식 믹서를 사용하는 것이 효과적이라고 생각된다.

4. 결 론

혼합방법이 콘크리트의 성질에 미치는 영향을 검토한 본 연구에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 믹싱시 물을 2회로 분할하여 첨가하는 S.E.C 방식에서 콘크리트의 블리딩이 최소가 되는 조건은 1차수와 단위시멘트량의 비가 20%~40%의 범위에 있을 때이다. 그리고 1차수와 단위시멘트량의 비를 30%로 하여 S.E.C 방식으로 혼합한 경우 종래의 동시혼합방식에 비하여 콘크리트의 블리딩이 약 30% 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) S.E.C 방식으로 콘크리트를 혼합하는 경우 재령 28일의 압축강도는 약 5% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같이 압축강도가 증가하는 것은 1차수에 의해 골재 주위에 시멘트 입자가 부착하여 캐필러리 상태의 물-시멘트비가 작고 점착성이 높은 층이 형성됨으로써 블리딩과 재료분리가 적은 콘크리트가 얻어지기 때문으로 생각된다.
- 3) S.E.C 방식으로 혼합하였을 때 블리딩이 감소하고 압축강도가 증가하는 효과는 연구자에 따라 다소의 차이가 있는데 이것은 믹서의 종류나 사용재료의 성질에 따라서 그 효과가 영향을 받기 때문으로 생각된다. 또한 S.E.C 방식

에서는 종래의 혼합방법에 비하여 2차수를 투입하기 전의 전력부하가 크므로 혼합성능이 우수하고 어느 정도 높은 부하에도 견딜 수 있는 믹서를 사용하거나 혼합량을 감소시키는 것이 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) 宮澤伸吾ほか, “練り混ぜ方法がコンクリートの壓縮強度におよぼす影響”, 土木學會第39回年次學術講演會講演概要集 第5部, pp. 183~184, October, 1984.
- 2) 宮地直樹, 中島浩二, “減水劑使用コンクリートの混練方法がコンクリートの性質におよぼす影響について”, セメント技術年報 X XII, pp. 344~348, 1968.
- 3) S. E. C 콘크리트機械協會, “S. E. C 콘크리트의 乾燥收縮ひび割れに関する基礎的研究”, セメント新聞, July 12, 1982.
- 4) 山本康弘, “建築におけるコンクリート製造技術”, 콘크리트工學, Vol. 31, No. 3, pp. 9~14, March, 1993.
- 5) 奥村忠彦ほか, “新しい練りませ方式によるモルタルを用いたPIPぐい”, セメント・コンクリート No. 418, pp. 35~40, December, 1981.
- 6) 石井卓ほか, “S. E. C 吹付け工法による道路トンネル吹付けコンクリート工”, 콘크리트工學, Vol. 21, No. 11, pp. 72~78, November, 1983.
- 7) Yoshiro Higuchi, “Coated-Sand Technique Produces High-Strength Concrete”, Concrete International, pp. 75~76, May, 1980.
- 8) 持田豊, “青函トンネルにおけるコンクリート技術の進歩”, セメント・コンクリート, No. 396, pp. 2~9, February, 1980.
- 9) 魚本健人, “分割方式によるコンクリートの練り混ぜ方法に関する基礎的研究”, 콘크리트工學, Vol. 20, No. 9, pp. 99~114, September, 1982.
- 10) 加賀秀治ほか, “S. E. C 콘크리트의 特性と展望”, セメント・コンクリート, No. 410, pp. 20~29, April, 1981.
- 11) 山本康弘, “練り混ぜ工法の進歩”, 콘크리트工學, Vol. 23, No. 7, pp. 49~58, July, 1985.
- 12) 宮下洋ほか, “S. E. C 工法によるコンクリートの諸性質と混和劑の性能效果”, 日曹マスタービルダース研究所報, No. 4, pp. 43~53, 1981.
- 13) 坂本全布ほか, “練り混ぜ方法の相違によって生じた壓縮強度差に関する一考察”, 土木學會第39回年次學術講演會講演概要集 第5部, pp. 185~186, October, 1984.