

진동 轉壓 콘크리트의 실험실적 연구

An Experimental study on Roller Compacted Concrete

현 석 훈

(쌍용양회공업(주) 중앙연구소 신제품개발실)

김 진 춘

(쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실)

김 병 권

(쌍용양회공업(주) 중앙연구소 기초연구실)

1. 서 론

최근의 교통량 및 重車輛 증가에 따라 아스팔트 포장 도로의 내구성 저하에 의한 보수, 유지, 관리를 최소화 할 목적으로 슬럼프 4cm 이상의 보통 콘크리트로써 도로 포장을 대체하고 있다. 그러나 보통 콘크리트 포장은 양생 기간이 길고 시공 장비가 대규모인 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 기존의 아스팔트 장비를 사용할 수 있고 조기에 도로 개통이 가능하여 매우 경제적인 RCCP 시공 연구가 미국, 일본 등을 중심으로 진행되고 있다.^{1) 2)}

본 연구는 실험실적으로 RCC 배합설계와 경화 콘크리트 특성을 검토하므로써 현장 포설 시험에서의 시행 착오를 줄이고 RCC의 장단

점을 파악하고자 실시하였다.

한편 시멘트의 단점으로 지적되고 있는 건조 수축을 저감하여 콘크리트 포장의 줄눈 간격을 넓게하고 균열 발생을 최소화 시킬 목적으로 사용되는 팽창 시멘트의 효과를 파악하기 위해서 보통 포틀랜드 Type I 시멘트에 10wt% 치환첨가하여 RCC 특성을 평가 분석하였다.

2. 실험개요

2. 1 사용재료

실험에 사용한 골재의 물리적 성질은 Table 1과 같으며 잔골재는 심천 강모래를 사용했으며 굵은 골재는 청원 석산 골재를 사용하였다.

Table 1. 골재의 물리적 성질

골재 종류	비중	흡수율 (%)	단위용 적중량 KG/M ³	F M	No.200체 이하
잔골재	2.59	1.05	1572	2.63	0.93
굵은 골재	2.71	1.5	1564	6.6	-

실험에 사용한 시멘트는 S사 Type I 시멘트와 팽창시멘트를 사용하였다.

2. 2 실험방법

2. 2. 1 RCC 배합설계 및 경화 특성 실험

RCC 배합설계를 위한 실험인자, 수준수 및 측정항목은 Table 2와 같으며 실험목적에 맞게 시험을 실시하였다.

Table 2. 실험인자, 수준수 및 측정 항목

인 자	수 준	측 정 항 목
단위시멘트량 (kg/m ³)	280, 300, 320	-충진율, 압축강도, 휨강도, 인장강도, 동결융해, 탄성계수, Poisson's ratio, 마모량 공기량
단위수량 (kg/m ³)	192, 100, 110, 120	
세골재율 (%)	38, 42, 46	
양생온도 (°C)	21, 8	
AE 감수제량 (wt%)	1, 2, 4, 배	
주) - 굵은골재 크기 : 20mm 이하 - 시멘트 : S사 Type I		

2. 2. 2 RCC 타설 경과 실험

대기 온도별 타설시간 경과에 따른 RCC 충진율을 측정하였다. 배합은 시멘트량 300kg/m³, 단위수량 110kg/m³ S/A=42% 조건을 사용했으며 시료량은 25ℓ 씩 각 온도에서 젖은 마포를 덮고 측정 시간마다 충진율을 측정하였다.

2. 2. 3 팽창시멘트의 RCC 적용 실험

팽창시멘트를 보통 포틀랜드 Type I 시멘

트에 치환하여 비교 평가 시험을 하였다. 비교 평가를 위한 실험인자, 수준수 및 측정항목은 Table 3과 같다.

Table 3. 실험인자, 수준수 및 측정항목

실험인자	수준수	측정항목
팽창시멘트 치환량 (%)	0, 10wt%	- 압축강도 - 건조수축 - 균열시험
단위시멘트량	300kg/m ³	
단위수량	120kg/m ³	
양 생	KS 표준양생 20°C 대기양생	
주) · 굵은 골재크기 : 20mm · RCC시멘트 : 팽창시멘트를 10wt% 치환한 시멘트		

2. 3 시험체 제작 및 측정 방법

RCC의 공시체 제작은 일본 마키타사 RCC 진동다짐기를 사용하여, 압축, 인장강도는 ϕ 10X 20cm 몰드를 사용하여 3층 각각 5초 동안 다짐하였고, 휨강도, 건조수축, 동결융해는 10 X 10X 40cm 몰드를 사용하여 2층 각각 10초 동안 다짐하였다.

정탄성계수는 ϕ15 X 30cm 몰드를 사용하여 구하였으며, 동탄성계수는 Sonometer에 의해 10 X 10X 40cm 몰드를 사용하여 구하였다.

충진율은 압축강도 공시체 9개의 충진율을 각각 구하여 평균하였으며, 표면마모시험은 표면마모시험기에서 3000rpm에서 연마제를 넣어 회전시키면서 시험을 실시했다.

3. 실험결과

3. 1 RCC 배합설계

3. 1. 1 충진율과 강도

Fig. 1은 충진율과 3일 압축강도를 나타낸 것인데 충진율 1% 증가 시키면 20kg/cm² 정

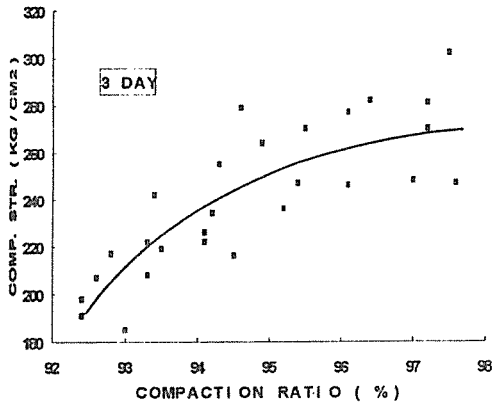


Fig. 1 충전율과 3일 압축강도와의 관계

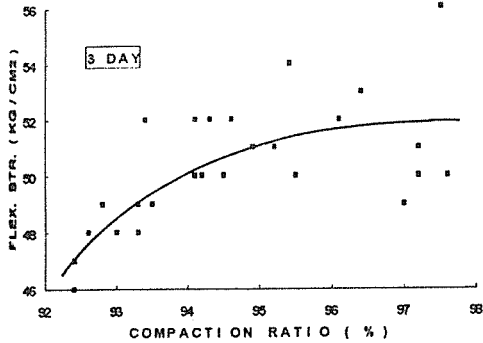


Fig. 2 충전율과 3일 휨강도와의 관계

도의 압축강도 상승을 보여주며 충전율 95% 이상에서는 압축강도 상승율이 적어지고 있다. 따라서 현장 포설시에 충전율이 95% 이상 유지 시키도록 전압을 가해주는 것이 필요하다.

Fig. 2는 충전율과 3일 휨강도를 나타낸 것인데 압축강도의 경우와 마찬가지로 95% 이상 충전율을 유지 시키는 것이 중요하다.

3. 1. 2 적정 S/A

Fig. 3은 S/A와 충전율과의 시험결과로써 S/A가 커질수록 충전율 편차가 줄어들고 있음

을 보여주며, S/A=42%에서 평균 충전율이 최대가 됨을 보여주고 있으며, 마찬가지로 Fig. 4의 S/A와 28일 압축강도 결과에서도 S/A=42%에서 편차가 가장 적게 나타났고, 평균강도가 최대가 됨을 보여주고 있다. 따라서 S/A=42%가 현장 포설시 적정한 S/A로 판단된다.

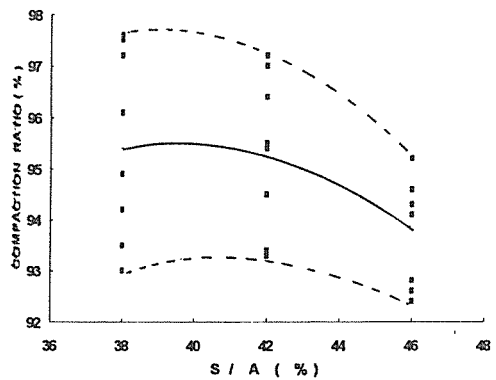


Fig. 3 S/A와 충전율과의 관계

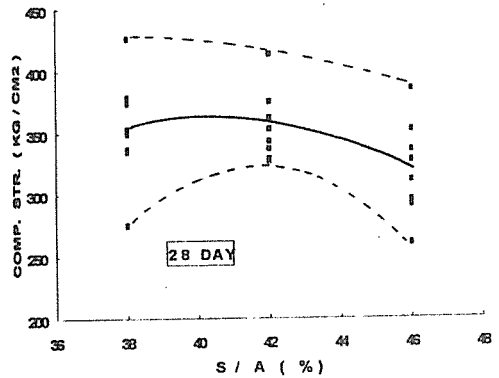


Fig. 4 S/A와 28일 압축강도와의 관계

3. 1. 3 단위수량

Fig. 5는 단위수량과 충전율과의 실험결과

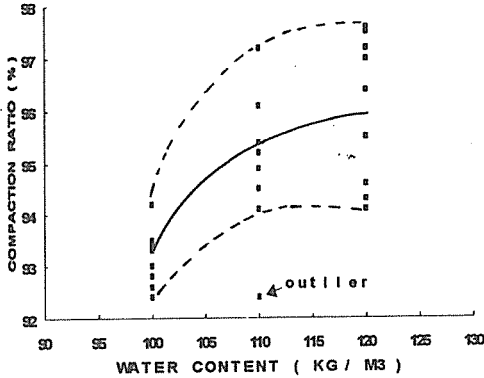


Fig. 5 단위수량과 충전율과의 관계

로써 단위수량 100kg/m³의 경우는 충전율이 부족한 것을 보여주고, 120kg/m³의 경우는 충전율 편차가 커지는 것을 보아 현장 轉壓 포설 시공시에 콘크리트가 밀려서 불균질한 다짐이 발생될 수 있다고 생각되며 또한 평균 충전율도 110kg/m³ 경우보다 높아지지 않으므로, 따라서 RCC의 전압 충전율을 확보할 수 있는 적정 단위수량은 110kg/m³이라고 판단되나 현장의 골재 여건, 타설 경과기간등을 감안하여 현장 시공시 결정할 필요가 있다.

3. 1. 4 Kp값

Kp 값은 잔골재의 공극부피에 채워지는 시멘트 페이스트 부피를 나타내는 것으로 Fig. 6에서 보여주듯이 동일한 전압 에너지에서 Kp 값과 충전율과의 관계는 아주 밀접하다. 따라서 충전율을 높이기 위해서는 Kp 값을 높게 배합설계를 해야 한다.

앞의 실험결과에서 나타난 것 처럼 필요한 강도를 얻기 위해서는 목표 충전율을 95% 이상 유지시키는 것이 필요하다. 목표 충전율을 95% 이상되게 하려면 Fig. 6에 나타난 것처럼 Kp 값을 1이상 되게 배합설계를 해야하며, 이것은 현장 전압 포설 시공시 필요 이상의 전압 에너지가 소모되는 것을 줄여주고 최대 강

도를 얻을 수 있는 배합설계가 된다.

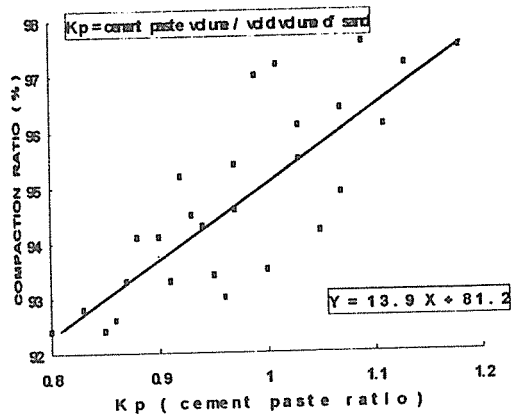


Fig. 6 Kp 값과 충전율과의 관계

3. 2 경화 RCC의 특성

3. 2. 1 강도

1) 재령별 강도수준

Fig. 7은 재령과 압축강도와의 결과이고 Fig. 8은 재령과 휨강도와의 결과이다.

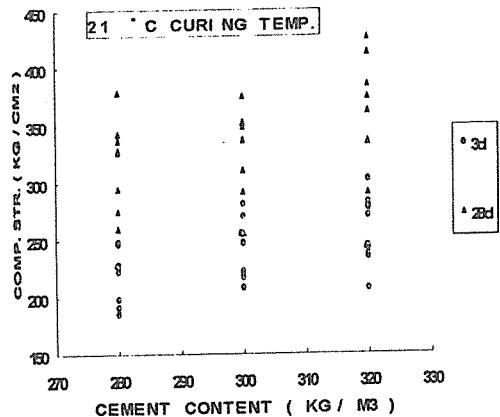


Fig. 7 시멘트량과 재령별 압축강도

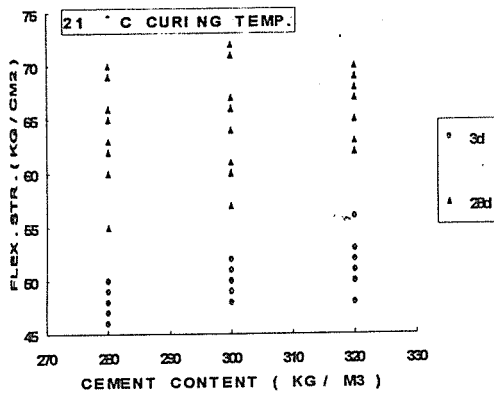


Fig. 8 시멘트량과 재령별 휨강도

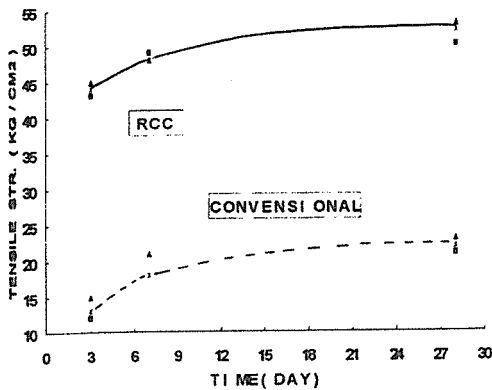


Fig. 9 콘크리트 종류에 따른 인장강도

시멘트량 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 에서 28일 강도가 $350\text{kg}/\text{cm}^2$ 수준을 발현하고 있으며, 3일 휨강도가 $50\text{kg}/\text{cm}^2$ 수준을 발현하고 있다. 또한 Fig. 9의 결과에 의하면 RCC는 보통 콘크리트에 비해 인장강도 발현이 크다. 이것은 보통 콘크리트에 비해 동일한 시멘트량에서 단위수량의 차

이에 영향도 있지만, 골재와 페이스트의 부착강도에 절대적인 영향을 받는 인장강도는 RCC의 경우 전압에 의해 부착강도가 높아지고, 블리딩수가 없으므로 골재와 페이스트간의 부착이 잘 되기 때문에 인장강도가 높아진다고 할 수 있다. 따라서 RCCP의 경우는 3일 경과 후에도 도로 개통이 가능하리라고 생각된다.

2) 저온양생에 의한 초기강도

Fig. 10은 8°C 에서 양생 했을때 RCC는 3일 강도에서 보통콘크리트의 28일 압축강도 수준인 $220\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도가 발현되고 있다. 따라서 RCC는 8°C 정도의 저온 시공에서도 3일 양생후에 도로 개통이 가능하다고 판단된다.

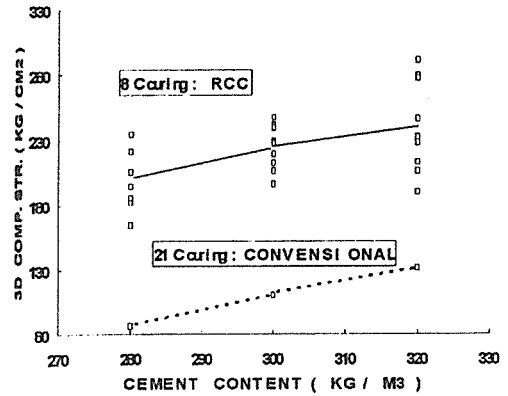


Fig. 10 저온양생에서의 3일 압축강도

3. 2. 2 탄성계수

Fig. 11은 압축강도와 정탄성계수와의 실험 결과이다. 점선은 ACI building code-1971에 의한 철근콘크리트에서의 보통콘크리트 탄성계수 값이고 실선은 RCC의 실험결과 식이다. 같은 강도일 경우 보통 콘크리트 보다 RCC가 탄성계수 값이 크게 나타났다.

3. 2. 3 마모량

Fig. 12은 RCC와 보통 콘크리트의 마모량

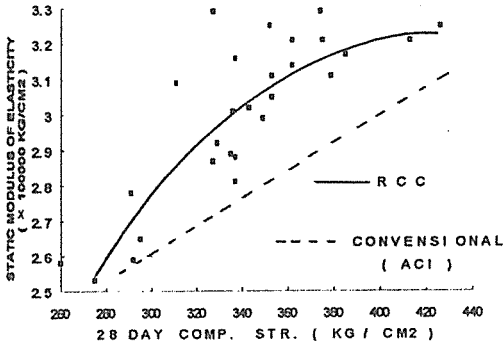


Fig. 11 압축강도와 정탄성계수와와의 관계

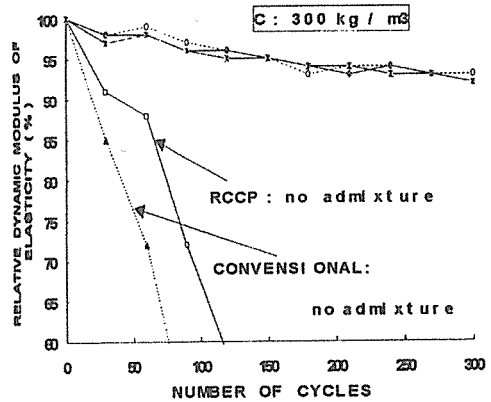


Fig. 13 동결융해에 의한 상대동탄성계수(%)

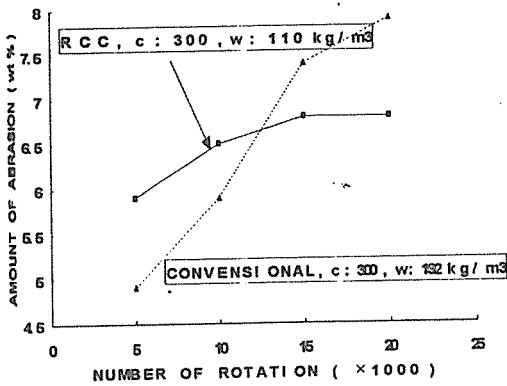


Fig. 12 회전수에 따른 콘크리트 마모량

을 측정한 것으로 RCC의 경우 초기에 마모량이 많지만 회전수가 많아질수록 보통 콘크리트 보다 적어진다. 이것은 단위수량이 적은 RCC가 블리딩이 적은 관계로 표면양생이 보통 콘크리트 보다 불충분하기 때문에 초기 마모량이 많지만 강도와 밀실함이 좋은 RCC는 회전수가 많아질수록 마모량이 점차로 적어진다고 생각되며 현장에서는 轉壓, 양생상태에 따라 표면 불량으로 인해 승차감 저하 등의 문제점이 발생 될 여지가 있을 것으로 생각된다.

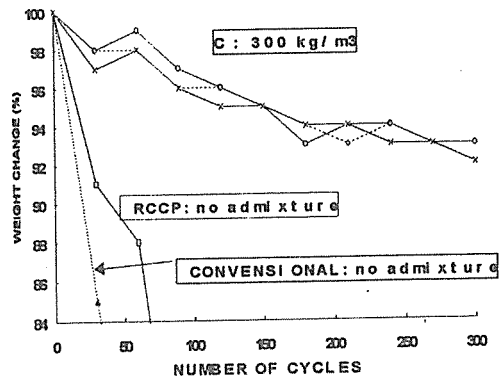


Fig. 14 동결융해에 의한 주량 변화율(%)

3. 2. 4 동결융해

RCC는 보통 콘크리트 경우 보다 공기연행이 잘 되지 않아서 보통 콘크리트의 첨가량에 4배 정도 첨가해야만 2.5%의 공기량이 연행되었다. 동결융해에 의한 상대동탄성계수(%) 변화는 Fig. 13과 같으며, Fig. 14는 동결융해에 의한 중량 감소이다. AE감수제를 첨가하지 않은 RCC는 보통 콘크리트 보다 밀실하고

강도(특히 인장강도)가 높기 때문에 동결융해에 대한 저항성이 커진다고 할 수 있으며, 공기연행이 잘 되지 않는 RCC는 보통 콘크리트보다 2~4배의 AE 감수제를 첨가해야만 충분한 동결융해 저항성을 나타낼 수 있었다.

3. 3 타설시간 경과와 전압충진성

Fig. 15는 온도별 타설시간 경과에 따른 충전율을 측정된 것이다.

60분 경과 까지 충전율의 저하폭은 적었지만, 60분 후에는 급격히 저하되었다. 그러나 30°C에서는 30분 경과 후에서도 함수비 부족 현상으로 재료분리 현상이 나타났다. 따라서 현장 시공시 예상되는 타설 경과시간, 주위온도, 콘크리트 온도등을 감안하여 단위수량을 증가하여야 되며, 콘크리트 함수량 관리가 중요하다.

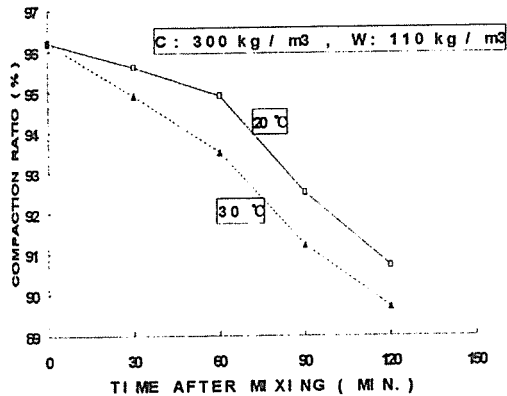


Fig. 15 온도별 타설시간 경과에 따른 충전율(%)

3. 4 팽창시멘트의 RCC 적용 실험결과

3. 4. 1 압축강도

Fig. 16은 Type I 시멘트에 팽창시멘트를 10wt% 치환한 시멘트(RCC시멘트라고 약칭)와 Type I 시멘트 단독 사용 했을때 단위수

량 120kg/m³에서의 RCC 압축강도 시험결과인데, RCC 시멘트가 Type I 경우 보다 5~8% 압축강도의 하락을 보여주고 있다.

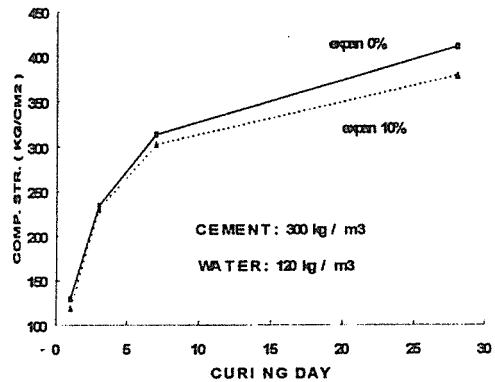


Fig. 16 팽창시멘트 첨가 RCC 압축강도

3. 4. 2 건조수축

Fig. 17은 RCC 시멘트를 이용하여 단위시멘트량 300kg/m³에서의 KS표준양생과 콘크리트 제작 즉시 대기양생에서의 RCC 건조수축을 측정된 것이다.

Fig. 17에서와 같이 KS표준양생을 할때(7일간 수중양생) RCC시멘트를 사용한 경우의 6개월 경과 후 RCC 건조수축은 2×10^{-4} 이하로써 거의 무수축의 값을 보여주고 있다. 그러나 실제 현장 여건은 7일씩이나 수분양생을 못하는 것을 감안하여 제작 즉시 대기양생을 했을때 건조수축은 Fig. 18에서와 같이 $2 \sim 3 \times 10^{-4}$ 정도의 값을 보여주고 있다.

RCC는 자체의 단위수량을 최소화하여 건조수축을 적게하는 요인과 아울러 轉壓 시공에 의해 공극 감소, 인장강도 증가로 인한 건조수축 감소 요인이 함께 작용한다. 이러한 RCC 자체 요인과 팽창시멘트의 팽창 효과에 의한 건조수축 상쇄효과가 작용되어 수축 줄년의 간격을 보통 콘크리트 보다 훨씬 넓게 할 수 있다. 실험실적으로 구속균열시험 결과를 보면

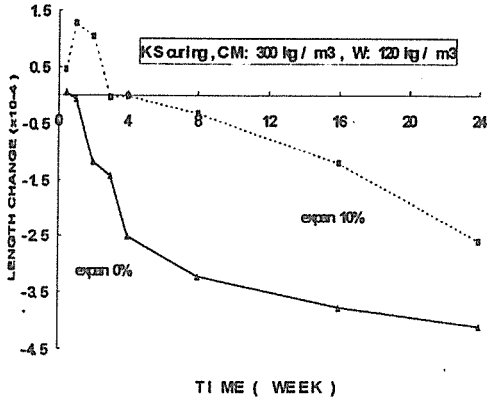


Fig. 17 RCC의 건조수축 (KS표준양생)

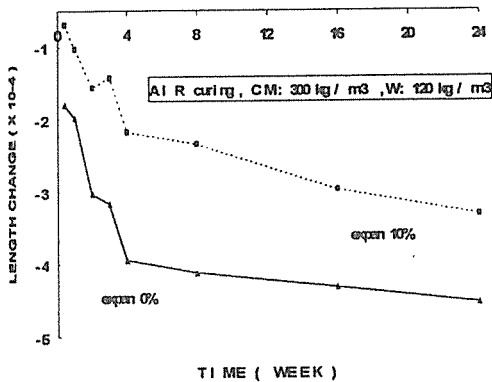


Fig. 18 RCC의 건조수축(제작 즉시 대기양생)

6개월 이상 경과하여도 균열 발생이 없는 RCC 제조가 가능한 것으로 보아, 수축 줄눈을 대폭 감소시켜 RCC시공이 가능하리라 생각된다. 그러나 실제 현장 시공 조건의 RCC는 단위수량이 적기 때문에 타설 직후의 표면 건조에 의해서 표면에 미세균열이 발생되기 쉬우며, 이 미세균열에 응력이 집중되어서 재령 경과에 따라 관통균열로 발전될 가능성이 크므로 RCCP는 초기에 철저한 습윤양생이 무엇보다

중요하다.

4. 결 론

- 1) 충진율 95% 정도 확보가 적정강도 발현 및 경제적인 전압 에너지이다.
- 2) RCC제조 최적 배합설계는 S/A=42%, 단위수량:110kg/m³이었고, Kp값:1 이상이다.
- 3) 단위 시멘트량 300kg/m³에서 RCC의 3일 휨강도가 도로 개통이 가능한 50kg/cm² 수준이었다.
- 4) RCC는 동결융해 내구성에 필요한 공기량을 확보하기 위해서는 보통 콘크리트에 비해 2-4배의 AE감수제가 필요하다.
- 5) RCC는 표면 양생에 요구되는 단위수량이 부족하여 보통콘크리트보다 초기 마모량이 커져서 평탄성이 떨어질 것으로 생각된다.
- 6) 팽창시멘트를 10wt% 치환 첨가하면 대기양생에서도 건조수축이 2~3×10⁻⁴ 정도로써 수축줄눈을 대폭 감소시켜 RCC시공이 가능하다.

참 고 문 헌

1. ACI Committee 207, "Roller Compacted Mass Concrete", ACI Material Journal, Vol.85, No. 5, pp.400-445, 1988
2. 富田六郎, "低收縮セメント(鋪裝用セメント/RCCP用セメント/膨脹セメント)", セメント・コンクリート, No. 535, Sept., 1991, pp33-39