

콘크리트의 양생

1. 서론

양생은 타설 직후의 콘크리트가 일정기간동안 저온에 의한 동해나 경화불량, 건조 및 급격한 온도변화에 따른 수축균열, 경화중의 진동·충격 및 하중에 의한 동적 균열 등으로부터 보호되고 적절한 온·습도 조건하에서 시멘트의 수화반응을 진전시켜 소요품질이 확보될 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

초기 재령의 콘크리트에 대한 적절한 양생은 콘크리트의 내부조직을 치밀하게 하고 세공구조를 변화시킴으로써 건축물을 사용하는 동안 콘크리트의 중성화 또는 염해에 의한 철근부식이나 균열 등으로 인해 구조체가 조기열화되는 것을 방지하는데 기여하므로, 장기적인 내구성 측면에서도 매우 중요한 과정이라 할 수 있다. 즉, 양생과정동안 시멘트의 수화에 적합한 온도조건하에서 수분이 지속적으로 공급되면 콘크리트 표면부의 공극이 새로운 수화생성물로 채워져 불연속적이고 공극직경이 작은 밀실한 조직이 형성됨으로써 투수성 또는 투기성이 낮은 콘크리트를 얻을 수 있다. 또한, 이로 인해 외부환경에 의한 침식가능성이 저감되며, 철근부식 등을 유발하는 유해물질의 침투에 대한 차단효과가 증대되므로 양생조건은 콘크리트 구조체의 내구성능을 좌우하는 중요한 영향요인이라 할 수 있다.

본 장에서는 이러한 관점에서 양생조건이 콘크리트의 품질과 장기적인 내구성능에 미치는 영향정도를 기존의 연구결과 및 문헌을 토대로 고찰하고 콘크리트의 내구성능 확보를 위한 시공현장에서의 적절한 양생방법에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 양생조건별 콘크리트의 품질 및 내구성

콘크리트의 내구성능은 공극구조, 투기성, 투수성, 확산성 및 흡수성 등으로 대표되는 조직의 밀실성과 중성화, 철근부식, 동결저항성, 내마모성 등에 의해 평가될 수 있으며, 이러한 내구성능평가 인자들은 주로 콘크리트 표면부의 품질에 의해 결정된다고 해도 과언이 아니다. 압축강도를 포함한 콘크리트의 기본적인 품질은 재

령 초기의 양생과 밀접하게 관련되어 있으며, 이는 양호한 양생조건하에서 수화반응이 지속적으로 진행되어야 콘크리트의 내부조직이 치밀해질 수 있기 때문이다.

콘크리트의 물시멘트비가 일정한 경우 경화된 시멘트 페이스트의 공극률은 주로 시멘트의 수화도에 의해 결정된다. 일반적인 온도조건에서는 C_3S 나 C_3A 와 같은 일부 시멘트 화합물이 물과 접촉하는 즉시 수화반응을 일으키지만 그러한 수화생성물이 미수화 시멘트 입자의 표면에 불투수층을 형성함으로써 그 이후의 수화반응은 상당히 느려지게 되며, 시멘트 입자 주위가 포수상태일 경우에만 수화가 계속 진행될 수 있다. 이러한 현상은 Powers 및 Patel 등에 의해 모세관 공극내의 상대습도가 80%이하로 저하될 경우 시멘트의 수화가 급격히 저하되는 것으로 연구결과 보고되고 있다.¹⁾²⁾ 따라서, 시멘트의 수화과정에 있어서 시간과 습도조건은 가장 중요한 인자라고 할 수 있으며, 온도조건은 수화반응의 속도를 결정하는 인자로서 이해하는 것이 적절할 것이다.

2.1 양생기간의 영향

콘크리트의 압축강도는 재령에 의한 함수로서 그 예측이 가능하지만, 이러한 관계는 습윤양생조건이나 정상적인 온도조건하에서만 성립될 수 있다. 그림1에 나타나 있듯이 미수화된 시멘트 입자가 계속 존재하는 조건하에서는 습윤양생기간의 증가에 따라 콘크리트의 강도는 계속 증가한다. 그러나, 단면이 작은 콘크리트 부재에서 모세관공극을 통해 수분이 증발되어 손실되는 기중양생 조건에서는 시간의 경과에 따라 강도증가율이 급격히 둔화되거나 강도저하를 보이기도 한다.³⁾

그림2는 물시멘트비를 달리한 경우, 1일 및 7일 동안의 초기양생 후 급속염화물침투시험(RCPT)을 실시한 결과를 나타낸 것이다. 각각의 물시멘트비 조건하에서 시험전 양생기간의 차이에 의해 염화물 침투에 대한 저항성이 차이를 보이고 있다.⁴⁾

이러한 초기양생기간에 따른 염화물 침투특성의 차이는 콘크리트 내부의 철근부식에도 영향을 미치게 된다. 즉, 그림3과 같이 5%의 염수에 침지시켜 콘크리트 내부의 철근부식을 촉진시킨 경우 습윤조건에서의 초기양생

김형래 (현대건설 기술연구소 선임연구원)

기간이 길수록 철근의 부식개시에 소요되는 기간이 증가됨을 알 수 있다.⁵⁾

2.2 온도조건의 영향

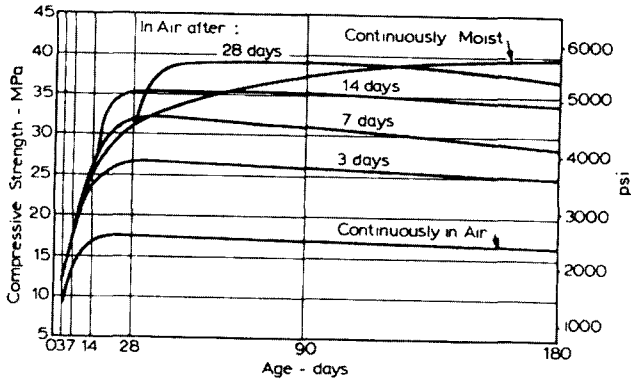


그림 1. 재령별 강도발현 및 습윤양생효과(W/C 50%)

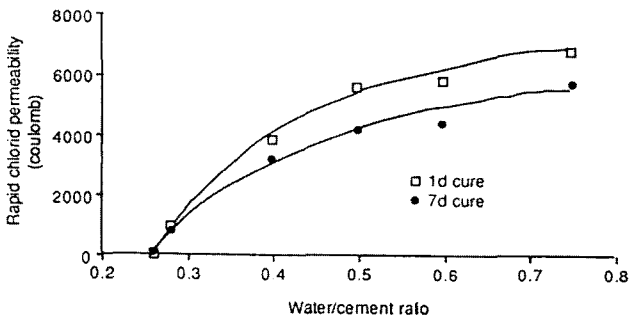


그림 2. 양생기간에 따른 W/C 별 콘크리트의 염화물 침투성

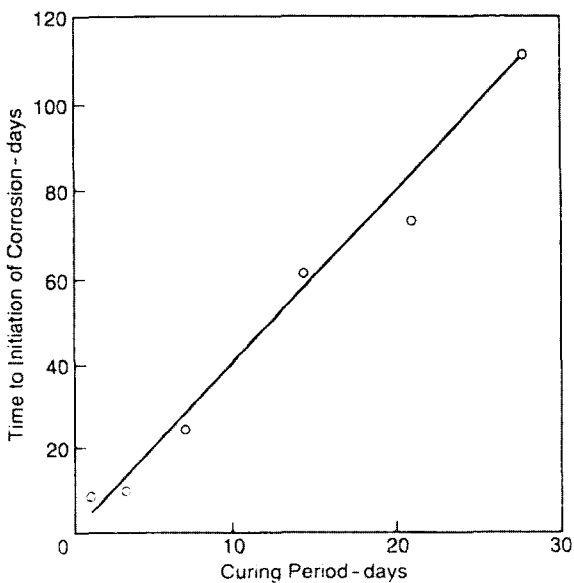


그림 3. 5%-염수침지조건에서의 철근부식에 미치는 습윤양생기간의 영향(내황산염시멘트, W/C 50%)

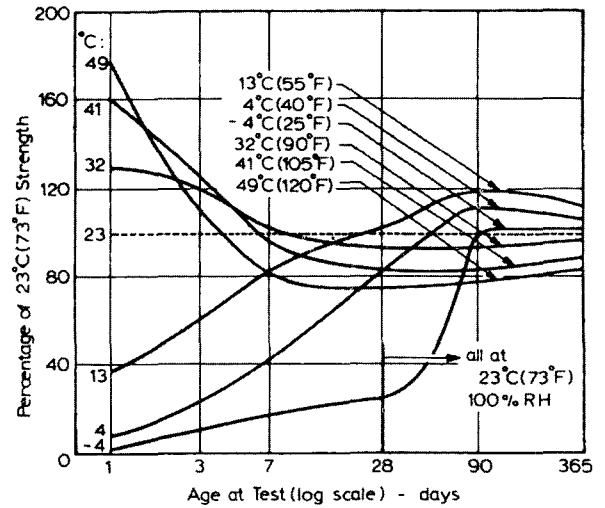


그림 4. 최초 28일간의 양생온도에 따른 콘크리트의 강도발현

콘크리트의 수화반응은 양생온도에 좌우되므로, 압축강도의 발현도 시간에 따른 온도이력에 의해 영향을 받는다. 그림4는 최초 28일동안의 콘크리트 양생온도를 4°C와 49°C 사이의 6수준으로 달리하고 재령 28일 이후에는 23°C, 100% RH의 동일한 조건에서 양생시킨 동일한 배합의 콘크리트 압축강도 변화를 나타낸 것이다.⁶⁾ 양생온도가 23°C인 경우에 비하여 재령초기의 양생온도가 높을수록 초기강도의 증진은 크지만 장기적으로는 양생온도가 낮을수록 강도발현이 더 우수하다고 할 수 있다.

양생온도의 영향은 그림5에서도 동일한 경향으로서 콘크리트 제조 후 최초 2시간 동안의 양생온도가 가장 낮은 4°C의 경우, 재령 7일까지의 초기강도발현은 다소 낮지만 그 이후의 장기강도발현이 가장 크게 나타나 콘크리트의 내구성능 확보면에서는 재령 28일 이전의 양생온도를 낮게 유지하는 것이 더 유리하다.³⁾

그러나, 콘크리트의 타설온도가 낮고 양생기간중의 기

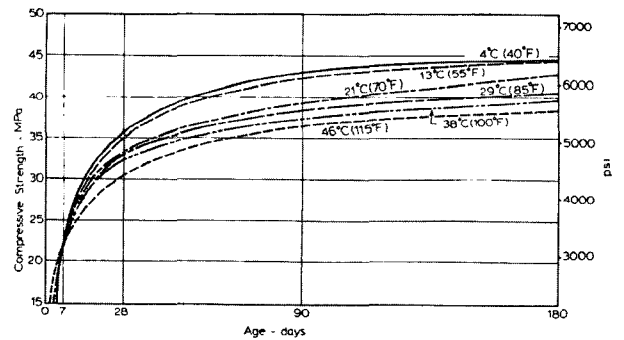


그림 5. 최초 2시간 동안의 양생온도가 강도발현에 미치는 영향 (밀봉양생, 2시간 후에는 21°C로 양생됨)

온이 0°C이하로 내려가면 콘크리트의 강도발현은 거의 정지되며, 압축강도 50kgf/cm²이 확보되기 이전에 콘크리트가 동결되면 동해로 인한 균열발생과 장기강도의 증진이 저해될 우려가 있음을 명심하여야 한다.

2.3 초기건조 및 습도조건의 영향

초기재령의 콘크리트가 건조되면 수화반응이 충분히 이루어지기 어려워, 따라서 장기강도의 진전도 기대하기 어렵게 된다. 또한, 초기재령에 있어서 급격한 건조는 노출된 콘크리트의 표면에 균열을 발생시키는 원인이 되기도 한다. 그림6은 기상조건에 따른 소성수축으로 인한 균열의 발생여부를 추정할 수 있는 굳지않은 콘크리트의 수분증발량을 나타낸 것으로서, 수분증발량이 1.0~1.5 l/m²/hr를 초과하는 경우 균열발생 위험성이 큰 것으로 보고되고 있다.⁷⁾

한편, 그림7은 수중양생과 기중양생 조건하에서 콘크리트 표면으로부터의 깊이별 공극분포를 나타낸 것으로서 수중양생의 경우 기중양생에 비하여 전반적으로 콘크리트 내부의 공극량이 감소하는 것을 알 수 있으며, 기중양생의 경우에는 깊이 2mm이내의 표면부일수록 공극량이 증가하고 공극직경도 커지는 경향을 나타내고 있다.⁸⁾

이와 같은 콘크리트 표층부의 세공구조는 그림8과 같이 콘크리트의 중성화 및 철근부식에 관련된 이산화탄소나 산소 등 유해가스의 침투⁹⁾ 뿐만 아니라, 공기중의 비래염분이나 이온상태의 화학성분의 침투·확산에 대한 저항성에도 영향을 주게 된다.

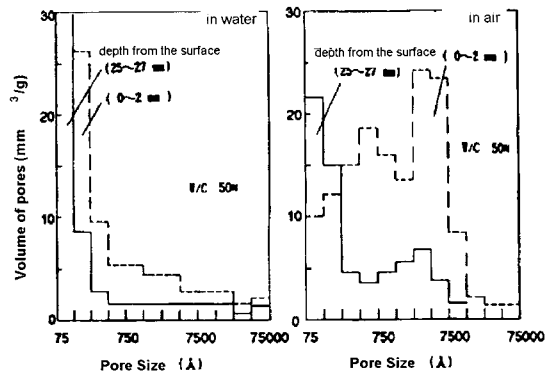
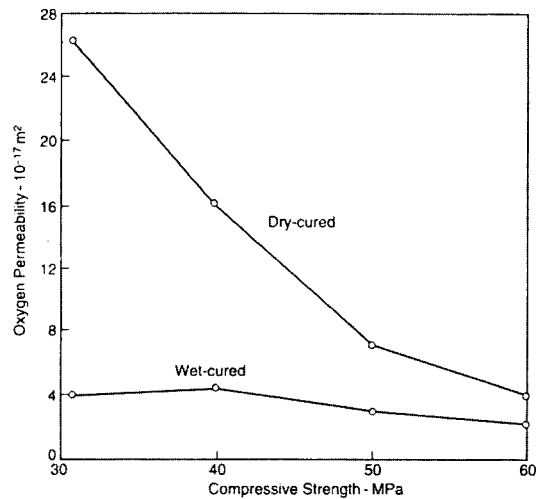
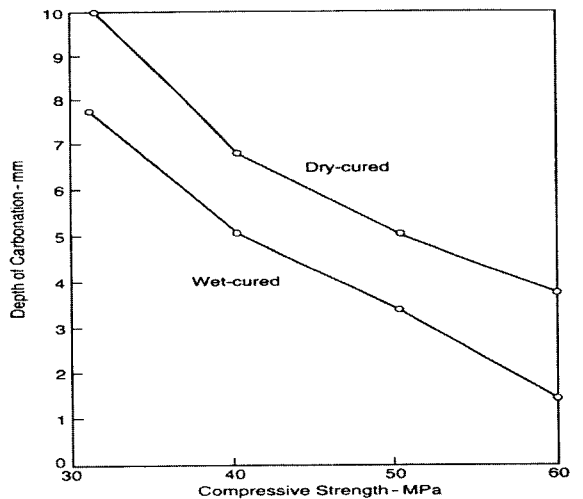


그림 7. 양생조건별 콘크리트 내부의 공극분포



(a). 산소투과성(재령28일)



(b) 중성화깊이(2년간 노출)

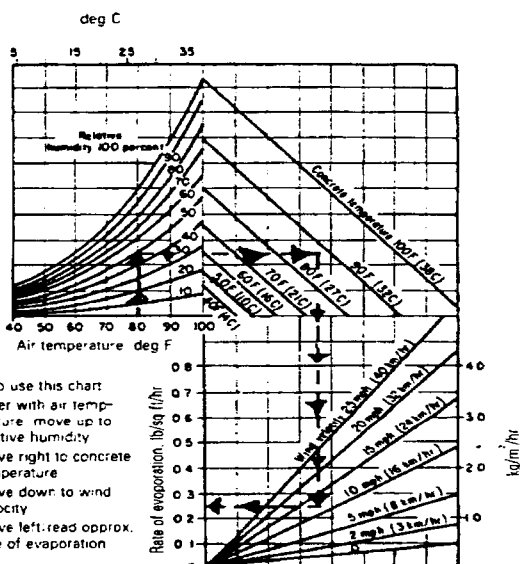


그림 6. 상대습도, 풍속에 따른 표면의 수분증발속도

그림 8. 28일간 수중 및 기중 양생시킨 콘크리트의 압축강도와 산소투과성 및 중성화깊이의 관계

2.4 진동·충격 및 재하

건축공사 표준시방서 및 콘크리트 표준시방서에는 콘크리트 타설 후 소요강도가 확보되기 전까지는 슬래브 상부에 일체의 하중이 작용하지 않도록 규정되어 있으나, 실제로 대부분의 시공현장에서는 공사기간의 단축을 위해 단기간 내에 상부층 공사용 철근을 슬래브 콘크리트 위에 올려 놓아 진동·충격을 가하거나 후속작업을 진행하는 사례가 많다. 이러한 초기양생기간 중의 진동·충격 및 작업하중은 이미 그 유해성이 확인되고 있으며, 콘크리트에 즉각적인 균열을 발생시키지는 않는다고 할지라도 장기적으로는 바닥판의 균열발생원인이 될 수 있다.

특히 콘크리트의 응결이 종료되기 이전에 진동을 가하는 경우 콘크리트의 강도가 다소 증가한다는 연구결과도 있지만 부재간 이음부의 강도나 철근부착강도 등에 악영향을 줄 수 있다.

3. 콘크리트의 내구성 확보를 위한 양생방안

철근콘크리트 건축물의 시공단계에서 콘크리트의 내구성능을 확보하기 위한 방안으로는 사용재료나 배합과 관련된 재료설계, 거푸집공법과 운반·다짐 등의 시공기술, 품질관리를 위한 철저한 시험·검사 및 확인 등 다양한 요소들이 고려될 수 있으며, 특히 시멘트 수화반응의 진행과 관련된 습윤양생기간, 온·습도조건 등의 초기양생조건은 장기적인 강도증진이나 콘크리트의 내구성능을 결정하는 매우 중요한 인자이므로 현장조건 및 기상환경조건을 고려한 적절한 양생방안이 계획되어야 한다.

일반적인 환경조건하에서 외기에 노출되는 콘크리트 바닥슬래브에 대한 효과적인 양생방법으로는 콘크리트 표면을 물로 채워 담수하거나 살수하여 습윤상태를 유지시키는 방법이 가장 보편적이며, 시공현장에서 지속적인 습윤양생효과를 얻기 위해서는 살수직후 방수시트 등으로 덮고 밀폐시키는 것이 바람직하다.

또한, 양생 콤파운드 등과 같이 콘크리트 표면에 균일한 도막을 형성함으로써 내부의 수분이 증발되지 않도록 하는 방법을 고려할 수도 있다. 도막형성에 의한 방법은 적용시기에 따라 양생효과에 큰 차이가 있을 수 있는데, 콘크리트 표면마감 후 물기가 없어지는 시기가 가장 적절한 것으로 알려지고 있다.¹⁰⁾

Wainwright¹¹⁾ 등은 도막양생재로서 표1에 나타난 양생콤파운드를 대상으로 콘크리트의 양생효과를 검토한 결과, 그림9에 제시된 것처럼 Solvent-borne resin이나 Wax emulsion에 의한 도막 적용시 양생하지 않은 경우

에 비하여 콘크리트의 산소 투과성이 훨씬 저감되었으며, 이것은 3일간의 수증양생과 거의 동일한 수준인 것을 알 수 있다.

표 1. 도막양생 콤파운드의 물리적 성질

양생 콤파운드	비중	표면장력(N/m)
Solvent borne resin	0.873	0.029
Wax emulsion	0.981	0.043
Solvent-borne acrylic	0.865	0.032
Acrylic emulsion	1.007	0.039

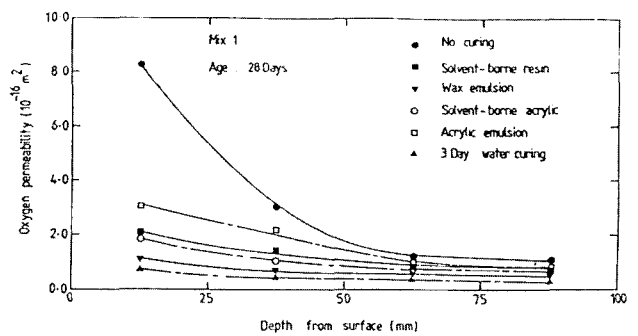


그림 9. 양생방법에 따른 콘크리트슬래브의 깊이별 산소투과성

한편, 동결기나 혹한지와 같은 특수한 환경조건하에서 시공되는 콘크리트는 초기 동해로부터 보호되고 중장기적으로 설계강도 및 내구성이 확보될 수 있는 양생방법의 선정과 시공기술이 무엇보다도 중요하다. 즉, 한중콘크리트의 경우 적절한 양생을 위한 환경조건을 인위적으로 조성할 필요가 있으며, 이는 앞에서 언급하였듯이 콘크리트가 양생 온·습도에 대한 의존성이 매우 크기 때문이다.

시멘트의 응결이 완료되고 콘크리트가 소요강도를 확보하기 이전에 동해를 입게 되면 구조체의 구조안전성을 저해하는 균열이 발생되고 장기적인 강도증진과 내구성능의 확보가 곤란하게 될 수 있다. 반대로 과도한 열공급은 노출된 콘크리트 표면에서의 급속한 건조에 의해 균열을 발생시킬 수 있다. 또한, 이산화탄소를 배출하는 열원을 적용하는 경우 보양공간 외부로 배기가스가 배출되지 않는다면 슬래브 콘크리트 노출표면의 경화불량을 야기할 수 있을 뿐만 아니라 중성화의 급속한 진전으로 인한 내구성능저하도 우려되므로,¹²⁾ 이에 대한 대책이 강구되어야 한다.

4. 결 론

지금까지 양생조건이 콘크리트의 품질과 내구성능에 미치는 영향을 살펴보고 내구성능 확보를 위한 양생방안을 고찰하였다. 앞에서 언급하였듯이 콘크리트의 내구성능은 외부로부터 유해물질의 침투·확산과 밀접하게 관련된 내부조직의 밀실성에 주로 영향을 받으며, 이러한 콘크리트의 공극구조와 침투·확산성이 골조시공의 최종단계인 양생과정에 의해 크게 달라지게 된다는 점을 알 수 있었다. 따라서, 시공현장에서 양생방법을 선정하고 작업을 수행함에 있어서 양생온도와 습윤조건을 유지할 수 있는 양생 자재 및 방법에 대한 충분한 검토가 시공전에 이루어져야 하며, 설계상의 소요강도 확보뿐만 아니라 콘크리트의 내구성능 확보와 관련된 양생과정의 중요성을 인식해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. T. C. Powers, "A discussion of cement hydration in relation to the curing of concrete", *Proc. Highw. Res. Bd.*, 27, 1947, pp.178~88.
2. R. G. Patel, D. C. Killoh, L. J. Parrott and W. A. Gutteridge, "Influence of curing at different relative humidities upon compound reactions and porosity of Potland cement paste", *Materials and Structures*, 21, No.123, 1988, pp.192~197
3. W. H. Price, "Factors influencing concrete strength", *ACI Journal* 47, 1951, pp.417~432
4. P. C. Aitein, M. Baalbaki, "Concrete admixtures Key components of modern concrete", *Proceedings of the international RILEM workshop on Technology Transfer of the New Trends in concrete*, Concrete Technology, E & FN SPON, 1994, pp.33~47
5. Rasheeduzzafar, A. S. Al-Gahtani and S. S. Al-Saadoun, " Influence of construction practices on concrete durability", *ACI Materials Journal*, 86, No.6, 1989, pp.566~575
6. P. Klieger, "Effect of mixing and curing temperature on concrete strength" *ACI Journal* 54, 1958, pp.1063~1081
7. ACI, "Hot weather concreting", Report by ACI Committee 305, *ACI Manual of Concrete Practice*, Vol.2, 1996
8. 地濃茂雄, 仕入豊和, *コンクリート表層部その養生条件と細孔構造*, *セメント・コンクリート*, No.468, 1986
9. M. Ben Bassat, P. J. Nixon and J. Hardecastle, "The effect of differences in the composition of portland cement on the properties of hardened concrete", *Mag. Concr. Res.*, 42, No.151, 1990, pp.59~66
10. 日本コンクリート工學協會, *コンクリート技術の要點*, 1982, pp.100~103
11. P. J. Wainwright, J. G. Cabrera, N. Gowripalan, "Assessment of the efficiency of chemical membranes to cure concrete", *Protection of Concrete, Proceedings of the International Conference, held at the University of Dundee, Scotland, UK, sept., 1990*, pp.907~920
12. ACI Committee 306, *Cold weather concreting*, ACI Report, 1988
13. A. M. Neville, *Properties of Concrete*, Fourth and Final Edition, Longman, 1995
14. 김부한, "콘크리트의 현상양생", *한국콘크리트학회지*, 제3권4호, 1991.12, pp.23~27
15. 정재동, "질근콘크리트의 중성화 현상과 대책", *콘크리트학회지*, 제4권1호, 1992.3, pp.17~24