

초음파가 폴리머함침콘크리트(PIC)의 물성에 미치는 영향

이원목[†] · 조현영 · 배영석

대전산업대학교 화학공학과
(1997년 10월 31일 접수, 1998년 7월 29일 채택)

The Effect on the Physical Properties of Polymer Impregnated Concrete by Ultrasonic Wave

Won-Mook Lee[†], Heon-Young Cho and Young-Suk Bae

Dept. of Chemical Engineering, Tae-Jon National Univ. of Technology
(Received 31 October 1997; accepted 29 July 1998)

요 약

폴리머함침콘크리트(PIC)는 보통시멘트콘크리트(OPC)에 4-6%의 폴리머를 함침시켜서 콘크리트의 기계적 강도를 300% 이상 향상시키며, 동결융해에 대한 저항성과 내화학약품성 등을 현격히 개선시킬 수 있는 등 새로운 콘크리트복합재료로서 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 콘크리트 건조공정, 진공탈기공정, 단량체함침공정, 단량체중합공정 등과 같은 복잡한 PIC 제조공정과 제조단가상의 문제로 실용화를 하는데 많은 장애를 받고 있다. 그러므로 본 연구에서는 PIC 제조 공정 중에서 진공탈기공정을 생략하고, 단량체함침공정에 초음파를 사용하여 단량체의 함침량과 PIC의 기계적 물성을 개선하고자 하였다. 그결과 초음파를 사용하면 단순침지방법에 의한 것 보다 MMA의 침투량이 20% 증가되며 PIC의 물성이 약 25% 향상되는 것으로 나타났다.

Abstract—Polymer impregnated concrete(PIC) which is made from ordinary portland cement concrete(OPC) has many merits as a new concrete composite because it can be reinforced over 300% in the mechanical strengths of concrete and very strongly increased in the durabilities of concrete from freezing-tawing and chemical solution by 4-6% impregnation of polymer in concrete. For the manufacturing of PIC, the drying process of base concrete, the vacuum evacuation process, the impregnation process and the polymerization process of monomer in situ are need. These complicate problems make slow progress to the practical using of PIC in the field. So, in this research to improve the manufacturing process and the mechanical properties of PIC, ultrasonic waves were applied to the PIC during the impregnation process. By applying the ultrasonic waves the impregnated amounts of MMA in concrete is increased about 20% than that of simple ponding method and the physical properties of PIC are increased about 25% than those of simple ponding method.

Key words: PIC, PMMA, Ultrasonic Waves, Impregnation Methods, Polymerization, Mechanical Properties, Durabilities

1. 서 론

시멘트콘크리트는 다른 재료에 비하여 가격이 저렴하고 기계적 물성이 좋으며, 상당한 내구성이 있으므로 건축·토목용 구조재료로 지금까지 많이 사용되어 왔다. 그러나 최근 산업이 발달함에 따라서 구조물에 보다 가혹한 조건들이 요구되었으며, 이러한 각종 요구조건들을 만족시키기 위하여 시멘트와 폴리머를 이용한 콘크리트 복합체에 관한 연구가 다양하게 시도되고 있다[1, 2].

이러한 연구의 일환으로 미국·일본 등을 비롯한 선진국에서는 다른 콘크리트 복합체 제조 공법에 비하여 경제적이면서도 보통시멘트 콘크리트(OPC)보다 물성 및 내구성을 현격히 증진시킬 수 있는 폴

리머함침콘크리트(PIC)에 관한 연구와 실용화를 위하여 1960년대부터 많은 노력을 경주하고 있다[3-6].

일반적으로 PIC는 시멘트, 모래, 자갈을 사용하여 OPC를 제조한 다음, 콘크리트를 완전히 건조하고, 메틸메타아크릴레이트(MMA) 등과 같은 단량체에 BPO, AIBN 등과 같은 개시제를 첨가한 용액을 콘크리트에 침투시키고, 열중합방법에 의해서 단량체를 콘크리트내에서 직접 중합시켜서 제조한다. 그러므로 PIC의 물성은 콘크리트 기체에 침투한 단량체의 분포도 및 침투량과 단량체의 중합반응의 정도에 의해서 크게 영향을 받는다. 즉 콘크리트 조직내에 존재하는 미세한 공간들을 물성이 좋은 고분자 물질들에 의해서 완벽히 충전되면 될수록 PIC의 물성은 증가하게 된다[7, 8].

따라서 본 연구에서는 초음파를 사용하여 OPC에 단량체인 MMA의 침투량 및 침투 깊이를 개선하고, 콘크리트에 침투되어 있는 단

[†]E-mail: wmllee@hyunam.tnut.ac.kr

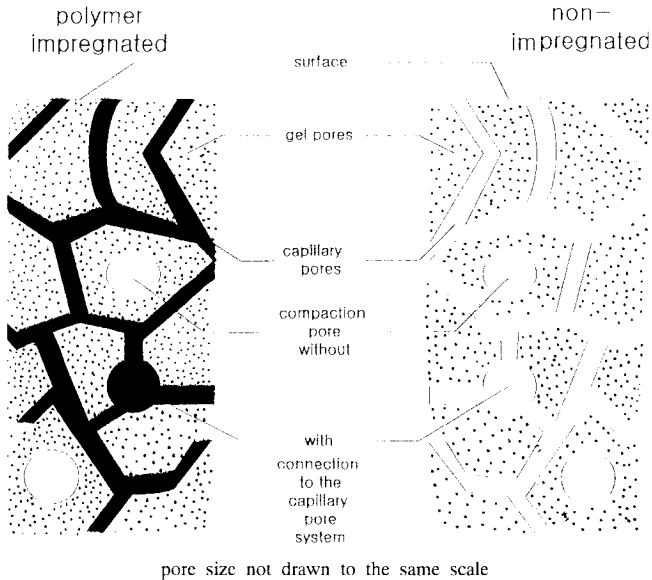


Fig. 1. The intrastructures of PIC and OPC[11].

량체의 중합반응을 촉진시키므로써 PIC의 물성을 개선시키고자 하였다.

2. 이 론

폴리머함침콘크리트(PIC)는 폴리머를 20% 정도 사용하는 폴리머 시멘트콘크리트(PCC)에 비하여 적은 양(4.5-8.5%)의 폴리머를 사용하므로 경제적이면서도, PIC 제품은 일반콘크리트에 비하여 압축강도, 인장강도, 휨강도가 300% 이상 향상되며, 동결융해에 대한 저항성, 화학약품에 대한 저항성 등의 제반 콘크리트 내구성이 월등히 우수하므로 많은 특징을 지니고 있다[7, 9, 10].

Schom[11]에 의하면 PIC 제품은 OPC 제품에 비하여 Fig. 1에서 제시된 바와 같이 시멘트콘크리트 조직내에 존재하는 모세관 공극에 폴리머가 충전됨에 의해서 콘크리트의 기계적 성질은 물론 내구성이 증가되는 것으로 설명된다.

그러나 Ohama[6]와 小柳[8]에 의하면 PIC를 제조하기 위해서는 다음 공정에서 제시하는 바와 같이 OPC에 비하여 약 35시간 정도가 더 소요되며, 건조공정, 탈기공정, 가압함침공정, 열중합공정 등과 같은 추가적인 공정이 필요하다. 따라서 보다 저렴한 PIC 제조를 하기 위해서는 공정의 소요시간 단축과 더불어서 PIC제조공정의 단순화가 절실히 요구된다.

그리고 PIC의 특성은 폴리머의 물성, 침투량, 침투깊이, 중합도 등에 의해서 크게 영향을 받는다. 지금까지의 연구결과[1, 5, 12]에 의하면, 콘크리트 함침재로는 폴리스티렌(PS)과 폴리메틸메타아크릴레이트(PMMA)가 적당한 것으로 밝혀졌으며, 최근에는 PMMA에 내열성과 내약품성을 향상시키기 위하여 트리메틸프로판트리메타크릴레이트(TMPTMA)를 10% 혼합한 모노머를 주로 사용한다. 모노머 함침 방법으로는 100 mmHg 이하로 탈기한 다음 0.3 MPa로 가압하여 함침하는 방법이 추천되었으나, 현실적으로 단순침지 방법이 많이 사용된다. 함침재의 중합방법으로는 일반적으로 AIBN 혹은 BPO 등과 같은 개시제를 사용하고 90°C 정도로 열수를 사용하여 가열하는 열중합방법이 채용되고 있으며, ^{60}Co 를 이용한 방사선중합 방법이 사용되기도 한다.

PIC를 제조하는 일반적인 방법에는 Precast 제품을 이용하는 방법과 현장 콘크리트 구조물을 이용하는 방법이 있으며, 이들의 제조공

정은 다음과 같다[1, 5, 12].

가. PIC제품의 일반적인 제조공정(Precast 콘크리트 제품이용)

콘크리트 원료의 배합 → 수중양생 혹은 → Precast 콘크리트 → 건조 (시멘트, 골재, 물) 수중기양생 (150-200°C, 24시간)
냉각 및 탈기 → 가압 함침 → 열수에 의한 열중합 → PIC 제품
(20°C, (8.0 kg/cm², (70-90°C, 5시간)
100 mmHg, 15분) 5시간)

나. 현장 PIC 공법의 표준시공 순서

콘크리트의 → 콘크리트 건조 → 자연냉각 → 자연함침 → 표면처리세정 (120-150°C, (35°C이하) (3-5 kg/m², 4-10시간)
6시간이상

가열중합 → 시편질취 함침 깊이확인 → PIC
(70-100°C, 2-4시간)

이와 같이 기존의 PIC 공법에서는 콘크리트 기체를 건조한 다음, 완전히 탈기하고, 단량체 용액을 콘크리트에 침투시키는 방법(VSP: vacuummed simple ponding method)이 사용된다. 여기서 진공탈기공정과 가압침투공정은 야외 현장에 적용하는 경우에 어려운 문제가 있고, PIC의 제조단가를 높이는 원인이 되므로 최근에는 콘크리트를 건조한 후 곧바로 단량체를 침투시키는 방법(SP: simple ponding method)을 사용한다. 그러나 Han wu와 Eric W. Brooman[2]에 의하면 SP방법은 콘크리트 기체에 존재하는 가스 등에 의해서 단량체의 침투가 방해된다.

한편, 초음파 기술은 구조물의 다양한 분야에서 진단, 검사, 관리하는데 이용되어 왔다. 또한 이 기술은 액체 안에서의 세정, 교반, 탈기 등에도 사용되었다. 특히 최근에는 초음파를 이용하여 콘크리트에서 액체의 물질 전달을 강화하기 위한 방법이 시도된 바도 있다 [2]. 또한 Cooke[13]에 의하면 단파(microwave)는 물분자들에 의해서 강하게 흡수되며 열을 발생하므로, 콘크리트에 조사하면 콘크리트가 균일하게 가열되며 고분자중합반응을 개시하는 작용도 할 수 있다고 보고하였다.

따라서 본 연구에서는 최근 많이 사용되고 있는 PIC 제조공정 중에서 탈기공정과 가압공정을 PIC의 경제성과 현장 적용성을 고려하여 생략하였다. 그 대신 PIC 제조공법 중 단량체의 함침공정과 중합공정에서 초음파를 사용하는 초음파침지중합반응(USP: ultrasonic simple ponding method)과 초음파침지중합반응(USPR: ultrasonic simple ponding reaction)을 시도하였다.

즉, 단량체 함침공정에 초음파를 사용하여 콘크리트에 단량체의 함침량을 증가시키고, 함침시간을 단축시키고자 하였다. 또한 기존의 단량체 중합방법에서는 콘크리트 공시체에 열을 가하여 열중합방법에 의해서 PIC를 제조하나, 콘크리트는 열전도율이 낮은 관계로 중합반응시간이 10시간 이상으로 길게 된다. 따라서 본 연구에서는 초음파를 가하면 매질의 온도가 상승하는 점을 이용하여, 단지 초음파만을 적용하여 PIC에 들어 있는 단량체를 중합시키고자 하였다.

초음파가 단량체의 침투량 및 침투시간에 좋은 영향을 끼치는 이유는 Fig. 2에서 제시된 바와 같이 초음파에 의해서 모세관내에 갇혀 있던 기포들이 진동 효과에 의해서 빠르게 파괴되면서 외부로 유출되기 때문으로 예측된다[2].

이와 같은 PIC공법은 단량체의 완전침투가 가능한 두께 10 cm 이하 부재로서 고강도·고내구성이 요구되는 곳에 적용하기에 유망한 것으로 생각된다. 최근 선진국에서 실용화된 PIC 제품으로는 노후 교량의 보수, 방사성 폐기물 처분용 용기, 철도 침목, 자동차 도로 연석, 대·중량의 기계 받침목, 미관 및 내구성에 우수한 매설형채, 인

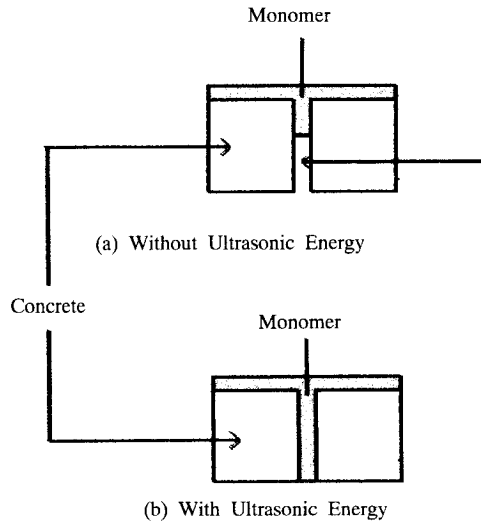


Fig. 2. The effects of ultrasonic waves on the impregnation process of PIC.

터록킹블럭, 전력케이블용공관, 해중레스토랑의 창채, 교량 및 고속도로상판 등이 있다[1, 4, 12].

3. 실험

3-1. 재료 및 장치

콘크리트 시험체는 실험기구의 여건을 감안하여 재령이 28일이고, 기준강도가 210 kg/cm^2 인 직경 10cm, 높이 10cm 원통형 공시체를 사용하였다. 함침재는 MMA를 사용하였으며, 개시제로는 AIBN과 BPO를 사용하였다.

실험장치는 용량이 20L인 일반 실험실용 초음파세척기를 사용하였으며, 발생하는 초음파는 27 kHz로 고정되었으나 발진출력전압이 10 W에서 150 W까지 가변적인 것을 사용하였다.

3-2. 콘크리트 건조 실험

콘크리트 공시체를 150°C 로 조정된 환류오븐에 넣고, 공시체의 건조가 급격하게 일어나는 8시간 이내의 건조속도와 36시간 동안의 극한건조량을 알아보았다.

3-3. 개시제의 농도에 따른 MMA의 중합반응 속도

AIBN과 BPO를 MMA 중량의 각각 0.5%, 1.0%, 1.5%를 첨가하여 겔화점을 측정하였다. 또한 각 중량비로 AIBN과 BPO를 혼합하여 MMA의 겔화점을 측정하였다. 겔화점은 시험관에 시료를 넣고, 온도를 70°C , 90°C 로 오븐 안에서 가열하면서 침입도 측정 방법으로 하였다.

3-4. 단량체의 함침 실험

MMA 용액에 콘크리트 공시체를 단순침지하여 단량체를 함침시키는 단순침지방법(SP: simple ponding method) 방법과 단순침지방법에 초음파를 사용하는 초음파단순침지방법(USP: ultrasonic simple ponding method), 진공탈기장치를 사용하여 콘크리트 공시체를 100 mmHg 이하에서 1시간 이상 탈기시킨 후 단순침지시키는 진공단순침지방법(VSP: vacuumed simple ponding method)을 사용하였다.

3-5. PIC의 중합반응

MMA가 함침된 PIC를 90°C 로 고정된 항온조에서 1시간, 2시간,

3시간 동안 열수에 의한 열중합반응을 진행시켰다.

또한 초음파에 의해서 매질의 온도가 상승됨을 이용하여, MMA가 함침된 PIC에 열을 가하지 않고 단지 27 kHz의 초음파만을 1시간, 2시간, 3시간 동안 각각 주사(용액의 온도: 70°C)하여 초음파 중합반응을 진행시켰다.

3-6. PIC의 기계적 강도 실험

직경 10cm, 높이 10cm PIC시료를 KS F 2405[콘크리트의 압축강도 시험방법]과 KS F 2423[콘크리트의 인장강도 시험방법]에 따라서 기계적인 물성을 측정하였다.

3-7. PIC의 내화학약품성

H_2SO_4 5% 용액, HCl 3% 용액과 Na_2SO_4 10% 용액에 대한 PIC의 부식현상을 관찰하기 위하여 PIC 공시체를 각 용액에 침지한 후, 14일 동안 일정 기간별로 공시체의 침식부분을 철술로 제거하고 중량감소를 측정하였다. PIC의 용출 용액 자체가 pH 12정도로 강한 알칼리성을 나타내므로 알칼리성 용액에 대한 PIC의 내화학성 시험은 고려하지 않았다.

4. 결과 및 고찰

4-1. 콘크리트의 건조 특성

콘크리트의 건조 특성은 콘크리트의 재령, 물/시멘트비, 양생조건(수중/기건양생), 콘크리트의 표면적, 보관상태 등에 의해서 좌우되지만[7], 본 실험에서 사용한 공시체를 향량이 될 때까지 150°C 오븐에서 36시간 동안 건조시킨 결과는 Fig. 3의 test-1과 같고, 단기간의 콘크리트 건조 특성을 알아보기 위하여 150°C 오븐에서 7시간

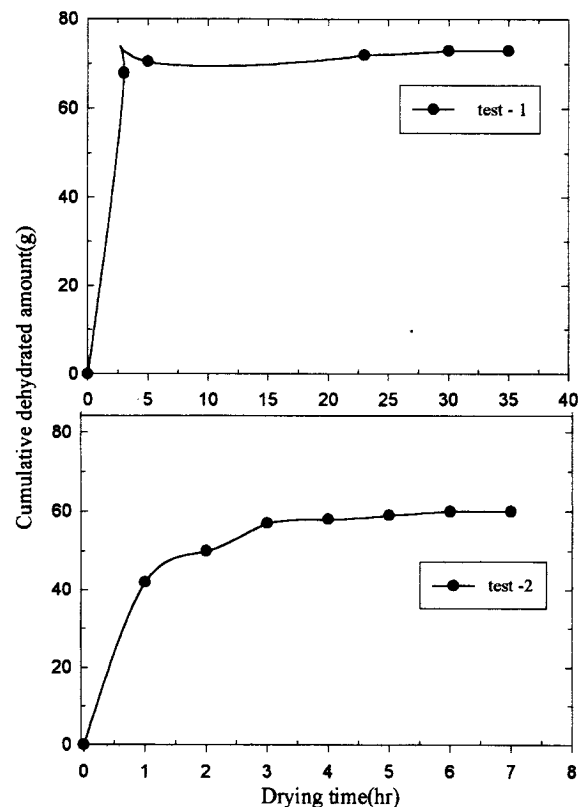


Fig. 3. Dehydrated amounts of concretes on drying time.
(specimen : d-10 cm, h-10 cm, drying temp. : 150°C)

동안의 건조실험결과는 Fig. 3의 test-2와 같이 나타났다.

콘크리트의 건조량은 건조시간이 24시간 이상되면 거의 일정하게 유지되며, 최종 콘크리트의 건조량은 콘크리트 중량의 약 3.7%가 되는 것으로 나타났다. 또한 콘크리트 건조량의 95% 이상은 건조시간이 6시간 이내에서 일어나는 것으로 나타났다.

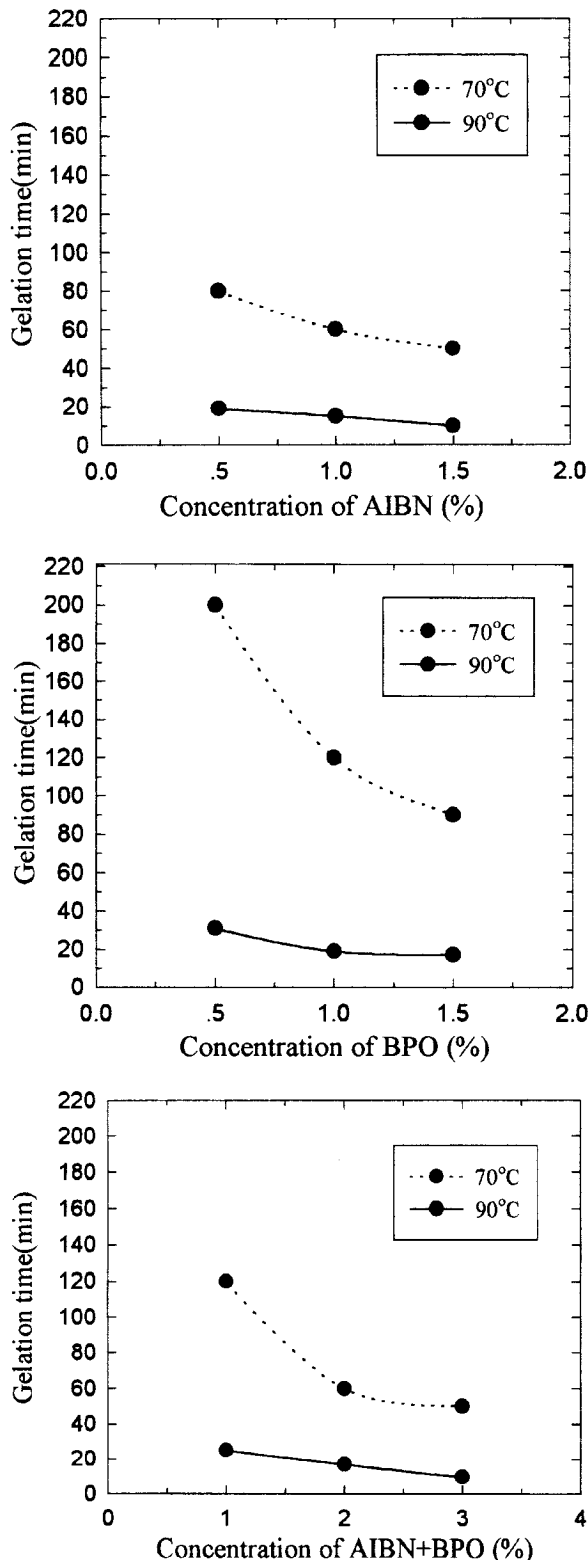


Fig. 4. Gelation time of MMA vs. the concentration of initiators.

이와 같이 콘크리트의 건조속도가 건조시간 4-6시간까지는 빠르나 그후 건조속도가 급속하게 감소되는 이유는, 콘크리트가 급속히 열됨에 따라서 콘크리트 표면에 있는 자유수는 빠르게 증발되나 콘크리트 내부에 있는 유리수는 확산속도가 늦기 때문으로 보인다.

大濱[5]와 Cooke[13]의 연구결과에 의하면[5, 13], 콘크리트의 건조시간을 24시간 이상 유지하는 것이 좋은 것으로 보고되었으나, 본 연구실험결과 경제성을 고려하여 콘크리트의 건조시간은 5-6시간으로 단축시키는 것도 좋을 것으로 판단된다.

4.2. 개시제의 종류와 농도에 따른 MMA의 중합반응속도

MMA의 중합개시제로는 일반적으로 AIBN과 BPO가 많이 사용되는 것으로 보고되었으므로, 본 연구에서는 AIBN과 BPO를 MMA의 중량에 0.5%, 1.0%, 1.5%씩 각각 첨가하고, 중합반응온도를 70°C와 90°C로 하여 PMMA의 겔화점을 측정한 결과는 Fig. 4와 같다.

4.2-1. BPO 개시제 농도에 따른 MMA의 중합반응속도

중합반응온도가 70°C인 경우, BPO의 농도에 따라서 겔화시간이 200분에서 100분으로 현저히 감소되며, BPO 첨가량이 1.0%일 때 겔화시간이 120분 정도로 되며 투명한 PMMA를 얻을 수 있었다. 그리고 온도를 90°C 올리면 개시제의 농도에 크게 영향을 받지 않고 40-20분안에 PMMA가 겔화되는 것으로 나타났다.

4.2-2. AIBN 개시제 농도에 따른 MMA의 중합반응속도

MMA의 중합반응온도가 70°C인 경우에는 AIBN의 첨가 농도가 0.5%인 경우 겔화시간이 80분정도 걸리나, AIBN의 첨가량을 1.0% 이상으로 하면 PMMA의 겔화시간은 50분 전후로 급감한다. 또한 중합반응온도를 90°C로 하면 AIBN의 첨가량에 큰 영향이 없이 10-20분 안에 PMMA가 겔화되는 것으로 나타났다.

4.2-3. AIBN과 BPO 개시제 농도에 따른 MMA의 중합반응속도

AIBN 개시제와 BPO 개시제의 혼합효과에 대한 영향을 알아보기 위하여, AIBN:BPO의 혼합비를 1:1로 하여 MMA 중량의 1.0%, 2.0%, 3.0% 첨가하고 온도를 변화시켜서 PMMA의 중합반응속도를 측정된 결과, AIBN 개시제에 BPO 개시제를 첨가하여도 PMMA의 중합반응속도 단축에는 큰 효과가 없으며, 온도에 대한 효과 또한 AIBN 개시제만을 사용한 경우와 같이 90°C 중합반응온도에서 PMMA의 겔화시간이 10-20분으로 나타났다.

기존의 연구결과에 의하면[3, 10, 12], 투명한 PMMA 제조를 위한 개시제로는 BPO가 좋으며, 그 첨가량이 0.5-1.0%로 알려졌다. 또한 大濱 등의 연구결과[5]에 의하면, 상세한 실험결과 제시없이 PIC용 개시제는 AIBN 1.0%+BPO 1.0%를 첨가하는 것이 적당한 것으로 보고되었다.

그러나 본 연구팀이 실험한 결과, BPO는 AIBN 개시제에 비하여 PMMA의 겔화시간이 현저히 늦으며, AIBN에 BPO 개시제를 첨가해도 PMMA의 겔화시간 단축에는 큰 효과가 없는 것으로 나타났다. 또한 AIBN 첨가량은 MMA 중량의 1.0%가 적당하며 중합반응온도는 90°C가 70°C보다 약 5배 정도 빠르게 진행되는 것으로 판명되었다. 이와 같은 개시제의 효과에 대한 상이한 관점에 관해서는 앞으로 보다 깊은 연구가 필요하다고 본다.

4.3. 초음파에 의한 MMA의 함침효과

콘크리트에 MMA를 함침시키는데 초음파의 효과를 알아보기 위하여, 단순히 PIC용 시험체를 MMA용액에 침지시켜서 함침시킨 단순침지방법(SP), 공시체의 MMA용액 침지시간에 27 KHz 초음파를 30 W 출력으로 주사하여 함침시킨 초음파침지방법(USP)과 공시체를 진공상태에서 완전 탈기한 후 단순침지방법에 의해서 함침시킨 진공단순침지방법(VSP) 시료에 대한 MMA의 침투량을 측정된 결과는 Fig. 5와 같다.

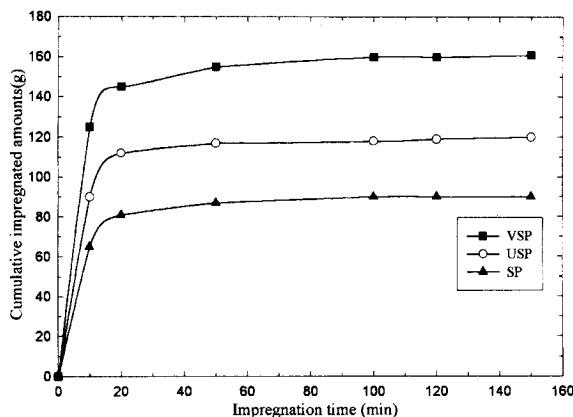


Fig. 5. Impregnated amounts of MMA vs. the impregnation time in each processes.

콘크리트 공시체에 대한 MMA의 침투는 약 120분 안에 거의 모두 이루어지며, MMA의 전체 침투량의 95% 이상이 침투시간 60 이내에서 이루어진다. 건조한 공시체에 침투한 MMA의 최종 침투량은 VSP가 161.45 g(콘크리트 중량의 8.9%), USP가 115.58 g(콘크리트 중량의 6.1%), SP가 97.41 g(콘크리트 중량의 5.2%)로 나타났다. USP의 단량체 함침량은 VSP 함침량의 약 72%가 되며, SP 보다는 초음파에 의해서 MMA의 침투량이 약 20% 증가되는 것으로 나타났다.

또한 단량체의 침지방법에 따른 MMA 단량체의 침투깊이를 알아보기 위하여, 단량체를 2시간 동안 함침시킨 시험체를 완전히 중합 반응시킨 PIC 공시체를 반으로 활렬하여 사진을 찍어본 결과는 Fig. 6과 같다. 콘크리트에서의 MMA 침투깊이를 육안으로 확인한 결과 VSP는 3.5-4.0 cm, USP는 2.5-3.0 cm, SP는 0.5-1.0 cm로 나타났다.

4-4. 중합반응시간에 따른 PIC의 기계적 강도

PIC에 함침되어 있는 단량체의 중합도에 따라서 PIC의 물성이 크게 변하므로, 90 °C로 조절된 항온조에 PIC 공시체를 넣고, AIBN을 개시제로한 MMA의 겔화점을 고려하여 중합반응시간을 1시간, 2시간, 3시간으로 변화시키면서 PIC의 압축강도와 인장강도를 측정된 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

SP의 압축강도는 OPC의 강도에 비하여 전반적으로 190-210% 정도 향상되는 것으로 나타났으며, 중합반응시간이 증가됨에 따라서

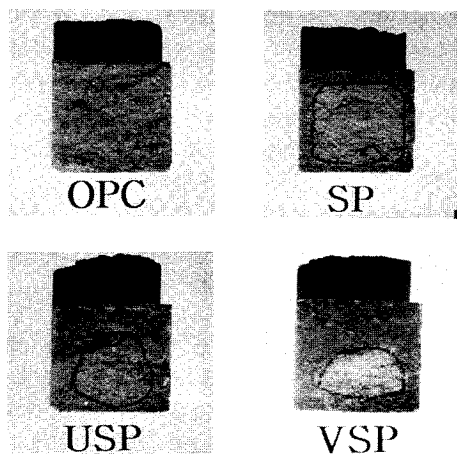


Fig. 6. The impregnated depths of MMA in PIC according to the different ponding methods.

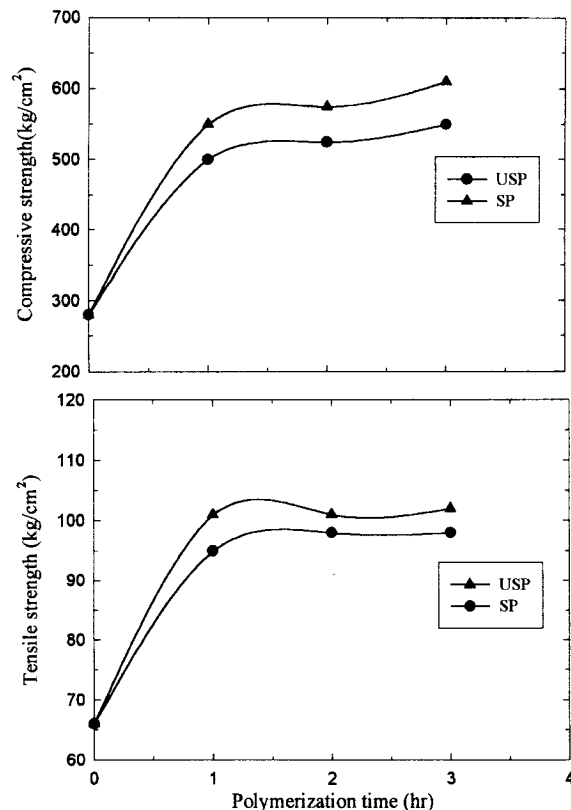


Fig. 7. Compressive strengths and tensile strengths of the PIC vs. the polymerization time of MMA.
(reaction temp. and cat : 70 °C, AIBN 1.0 %)

PIC의 강도는 약간씩 증가되는 것으로 나타났다. SP와 USP 인장강도 또한 OPC강도에 비하여 150-170% 향상되는 것을 볼 수 있다. 특히 초음파를 사용한 USP시료는 SP시료에 비하여 10-20% 정도 압축강도와 인장강도가 증가되는 것으로 나타났다.

이와 같이 USP 공시체의 강도가 SP시료의 강도 보다 증가되는 이유는, 초음파에 의하여 콘크리트에서의 MMA의 함침량이 증가되었기 때문으로 사료된다. 또한 기존 문헌에서 PIC콘크리트의 강도가 OPC의 강도에 비하여 300-400% 증가되는 것으로 알려져 있으나, 본 연구실험에서 압축강도 증가폭이 적은 이유는 진공단순침지방법을 사용하지 않고 단순침지방법을 사용하였기 때문으로 생각된다.

4-5. 초음파 중합법에 의한 PIC의 기계적 강도

물이 들어 있는 항온조에 초음파만을 주사하면 10 W 이하의 저출력 영역에서는 매질의 온도가 변하지 않으나, 30 W 출력 영역에서는 초음파 주사시간에 따라서 매질의 온도가 약간 향상된다. 그러나 초음파 발진출력이 50 W 이상에서는 출력에 상관없이 거의 같은 양상으로 매질의 온도가 증가하며, 초음파 주사 후 1 시간이 되면 매질의 온도가 60 °C이상으로 높아진다.

따라서 본 연구에서는 별도의 가열 열원을 사용하지 않고, 27 kHz 발진출력 50 W의 초음파를 MMA를 함침시킨 공시체가 담긴 초음파 반응기에 1-3시간 동안 주사하여 중합반응시킨 후, PIC의 압축강도와 인장강도 측정 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

1시간 동안 초음파를 주사한 PIC의 강도는 OPC와 거의 같은 정도의 물성을 나타내며 인장강도 측정시 MMA 냄새가 강하게 나는 것으로 보아 중합반응이 거의 일어나지 않았음을 알 수 있었다. 반면, 초음파를 3시간 동안 주사한 PIC는 USP와 거의 같은 정도의 압축강

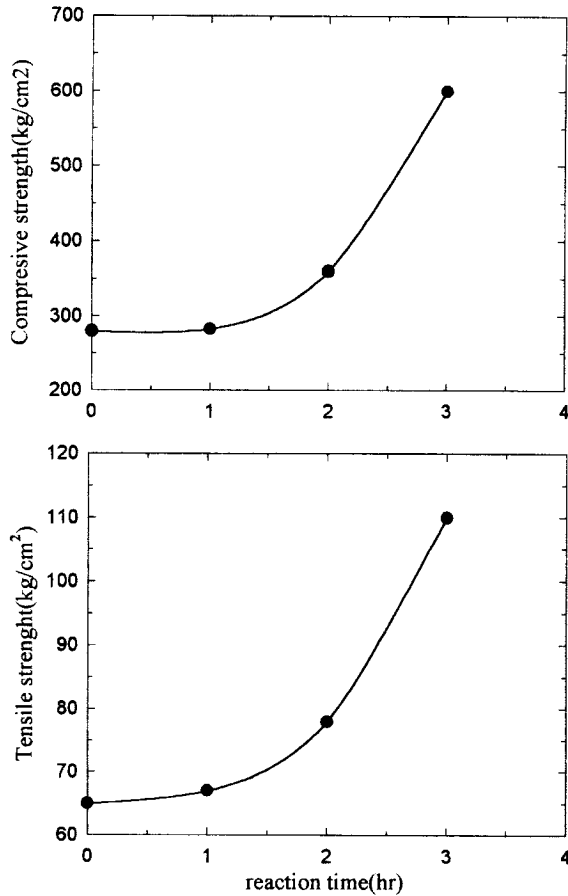


Fig. 8. Compressive strengths and tensile strengths of PIC vs. the polymerization time in the ultrasonic reactor.
(Ultrasonic power: 50 W)

도와 인장강도를 나타내는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 PIC 제조시에 초음파만을 사용하여 단량체의 침투 향상 효과와 중합반응 촉진효과를 동시에 얻을 수 있음을 시사한다.

4-6. 중합반응 조건에 따른 PIC의 기계적 강도

최적조건하에서 단순침지방법(SP), 초음파단순침지방법(USP), 초음파단순침지 및 중합반응방법(USPR)으로 제조된 PIC의 압축강도와 인장강도를 진공단순침지방법(VSP)으로 제조된 PIC의 물성과 비교실험한 결과는 Fig. 9와 같다.

OPC 강도에 비하여 VSP의 압축강도는 400 % 정도 높고, 인장강도는 260 % 정도 높다. OPC 강도에 비하여 SP의 압축강도는 220 %, USP의 압축강도 285 % 증가되며 초음파중합을 한 USPR의 압축강도도 230 % 정도 높은 것으로 나타났다. 또한 OPC의 인장강도에 비하여 SP, USP, USPR의 인장강도는 150-170 % 정도 향상됨을 알 수 있다.

상기한 연구결과로부터 MMA 단량체를 콘크리트에 함침시킬 때 초음파를 사용하면 PIC의 기계적인 물성이 25 % 정도 향상되며, 초음파만을 사용하여 단량체가 함침된 콘크리트의 중합반응을 진행시켜도 PIC의 기계적인 물성이 크게 증가됨을 알 수 있다.

4-7. PIC의 내화학약품성

폴리머 함침공정을 달린한 PIC의 화학약품에 대한 저항성을 알아보기 위하여 HCl 3 % 용액, Na₂SO₄ 10 % 용액에 공시체를 각각 담고 14일 동안 관찰한 결과 외관상의 변화를 관찰할 수 없었다.

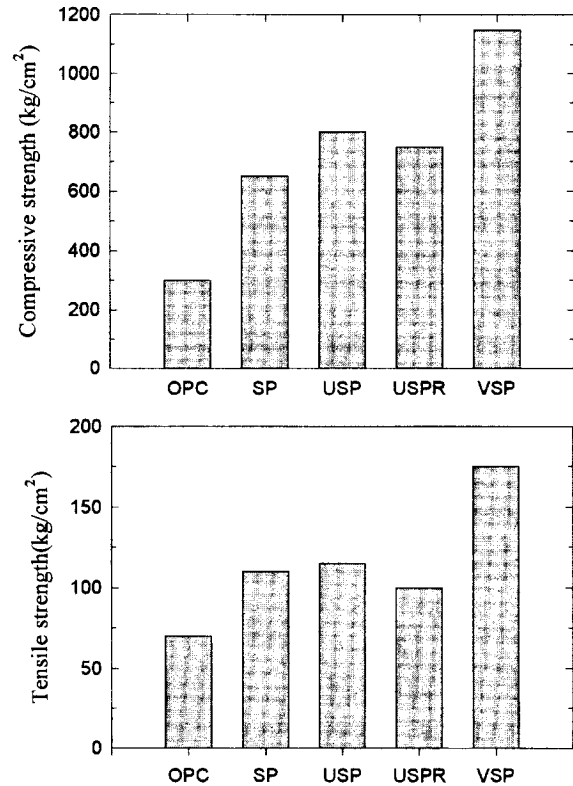


Fig. 9. Comparisons of strength and tensile strength of PIC in each impregnation methods of MMA.
(reaction time, temp. and cat: 1 hr, 70 °C, AIBN 1.0 %)

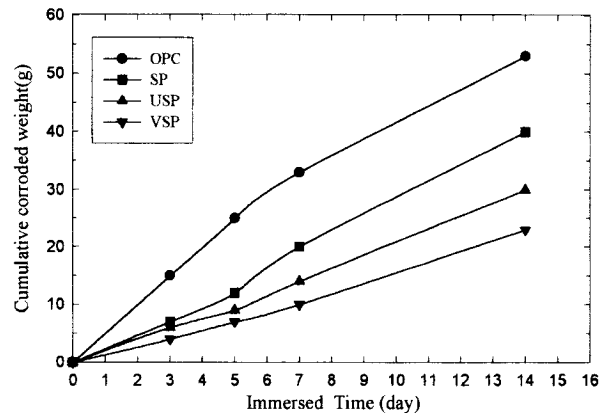


Fig. 10. The corroded weights of PIC vs. immersed time in 5.0 wt % H₂SO₄ solution.

그러나 H₂SO₄ 5 % 용액에 대한 PIC의 내화학약품성을 실험한 경우에는 모든 공시체가 심한 부식현상을 나타내었으며, 각 PIC 공시체가 황산이온에 의해서 부식되어 손실된 누적감량결과는 Fig. 9와 같이 나타났다.

전반적으로 OPC에 비하여 VSP는 황산용액에 대한 저항성이 2배 정도 증가되며, SP와 USP는 1.4-1.7배 향상됨을 알 수 있다.

5. 결 론

폴리머함침콘크리트(PIC)의 제조공정을 개선하기 위하여, MMA 단량체 함침공정 및 중합반응공정에 초음파를 사용하여 콘크리트에서의 단량체 침투량과 침투시간을 조사하고, PIC의 물성을 연구한

결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) MMA 단량체를 콘크리트에 함침시킬 때, 초음파를 사용하면 단량체의 함침량이 20 % 정도 증가된다. 또한 침지 후 60분 이내에 전체 함침량의 95 % 이상이 콘크리트에 침투된다.

(2) 진공탈기 공정을 거치지 않고 단순침지방법에 의해서 제조된 PIC의 압축강도와 인장강도도 보통콘크리트의 기계적 강도에 비하여 200 % 이상으로 증가되며, 초음파를 사용한 PIC의 물성은 25 % 이상 더 향상된다.

참고문헌

1. Chandra, S. and Ohama, Y.: "POLYMERS in CONCRETE", CRC Press(1994).
2. Wu, H. and Brooman, E. W.: *CEMENT and CONCRETE RESEARCH*, **23**, 640(1993).
3. Zhiyuan, C. and Muhua, T.: Proceedings of the First East Symposium on Polymers in Concrete, Chuncheon, Korea, May 2-3(1994).
4. Chandra, S. and Ohama, Y.: *Concrete Technology*, SP 144-23, 403 (1991).
5. 大濱嘉彦, 出村克宣: "Polymer Concrete", CMC(1984).
6. Ohama, Y.: *CEMENT CONCRETE*, (530), 32(1991).
7. Kimachi, Y.: *Inorganic Materials*, **2**(256), 187(1995).
8. Koyanagi, W.: *Concrete 工學*, **31**(4), 5(1993).
9. 松田浩, 確田健, 崎山毅, 原田哲夫: *Concrete 工學論文報告集*, **17**(2), 47(1995).
10. Dikeou, J. T.: Proc. of the 1st Inter. Congress on Polymer Concrete, CONCRETE CONSTRUCTION, 2(1975).
11. Schorn, H.: Proc. of the 1st Inter. Congress on Polymer Concrete, CONCRETE CONSTRUCTION, 31(1975).
12. Söpler, B.: Proc. of the 1st Inter. Congress on Polymer Concrete, CONCRETE CONSTRUCTION, 254(1975).
13. Cooke, A. M.: Proc. of the 1st Inter. Congress on Polymer Concrete, CONCRETE CONSTRUCTION, 312(1975).