

온도에 따른 수중경화형 에폭시수지의 레올로지 특성

The Properties of Rheology of Underwater-Hardening Epoxy Resin According to the Temperature

정은혜* 강철** 곽은구*** 배기선**** 이대경***** 김진만*****
 Jung, Eun-Hye Kang, Cheol Kawg, Eun-Gu Bae, Kee-Sun Lee, Dae-Kyung Kim, Jin-Man

Abstract

Epoxy resin has less reaction shrinkage, has better water proofing and thermal resistance than other repairing materials, so it has been applied broadly to repair and finish buildings and infrastructures. Although the ambient temperature constructed is varied with the seasons and epoxy resin has to mix with appropriate hardener due to the non self-hardening, as the real construction of it, the ambient temperature is ignored and the blending ration of epoxy resin and hardener is fixed.

Also, because of the hardening time is aimed to temperature condition and the tolerance of blending ratio, we investigated the variation of viscosity according to ambient temperatures and hardener ratios.

As a results of study, we can select the economical blending ratio of the epoxy resin and hardener according to site situation.

키 워 드 : 온도, 경화제, 수중경화, 에폭시수지, 레올로지

Keywords : Temperature, Hardener, Underwater-Hardening, Epoxy resin, Rheology

1. 서론

콘크리트는 반영구적인 건설재료로 건축·토목분야에서 널리 사용되고 있다. 하지만 설계, 사용재료, 배합조건, 시공성 및 사용 환경에 의해 열화를 받으며 표준 시방에 준하여 시공한 구조물도 시간의 경과에 따라 내구성능이 저하된다. 특히, 수중 콘크리트 구조물은 열화인자가 많기 때문에 보다 더 심각하며, 열화의 형태는 구조체 표면의 침식, 철근부식, 수류에 의한 단면손상 등으로 나타난다. 이러한 열화로 인한 수중 콘크리트 구조물의 내구성능 저하를 방지하기 위하여 적절한 보수가 필요하다. 또한, 수중콘크리트 구조물의 보수에 있어 수중에서의 경화가 빠르게 이루어져야 하며, 지상에서의 혼합도 효율적으로 이루어져야 할 것이다. 이런 특성을 가지고 있는 것이 에폭시 모르타르이며, 에폭시 모르타르는 에폭시와 충전재로 나누어진다. 에폭시는 크게 에폭시수지(비경화제)와 경화제로 구성되며, 충전재는 시멘트와 규사를 일정한 비율로 혼합하여 사용되어지고 있다.

한편, 보수 재료인 고분자 에폭시수지는 미경화 액상물질로써 단독으로 사용되는 경우는 거의 없고 경화제와 배합하여 3

차원의 망상구조를 가지는 열경화성물질로 경화시켜 사용된다. 그 성질은 경화에 있어 반응수축이 매우 작고 전기적·기계적 성질이 우수할 뿐만 아니라 내수성 및 내약품성, 내열성 등이 우수하다. 이러한 장점에도 불구하고 에폭시수지와 경화제의 혼합 비율은 화학적 당량에 의하여 비율이 고정되어있어 현장 조건과 주변 환경, 전문가 등에 의해 작업이 이루어져 경제성과 시공성은 고려되고 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 수중경화상태를 고려하여 온도 조건에 따른 에폭시의 레올로지 특성을 검토하였으며, 현장작업 여건을 고려하여 에폭시와 경화제의 비율을 화학적 당량이 아닌 중량비에 대하여 실험을 실시하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 실험 계획은 Table 1과 같이 온도 조건으로 10, 20, 30℃로 3수준에 대하여 검토하였으며, 경화제 비율은 8수준으로 실시하였다. 측정항목은 굳지 않은 성상에서는 경시변화에 따른 발열온도, 상대점도, 전단응력을 측정하였으며, 경화 성상에서는 압축강도와 휨강도를 측정하는 것으로 하였다.

* 공주대학교 건축공학과 공학석사과정

** 공주대학교 건축공학과 공학박사과정

*** 공주대학교 RIC/NMR 전임연구원

**** (주)리폼시스템 기술연구소 연구소장, 공학박사

***** (주)리폼시스템 기술연구소 선임연구원

***** 공주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

Table 1. Experimental plan

ID	Ambient Temp.	Ratio of combination			Test items
		A	B	C	
a	10℃ 20℃ 30℃	2	2.0	6	- Temp. - Viscosity - Shear stress
b			1.8		
c			1.6		
d			1.4		
e			1.2		
f			1.0		
g			0.8		
h			0.6		

* : A: Resin B: Hardener ratio C: Powder(Cement : Silica = 1 : 1)

2.2 사용재료

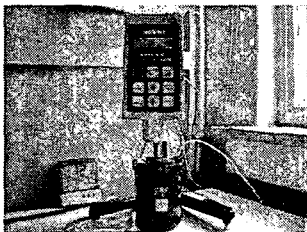
에폭시수지와 경화제, 분체는 국내 L사에서 생산되고 있는 제품이며, Table 2는 에폭시수지와 경화제의 물리적 특성이다. 분체의 경우 시멘트와 규사를 1:1로 혼합한 것으로, 충전재로 사용하였다.

Table 2. The physical properties of Epoxy

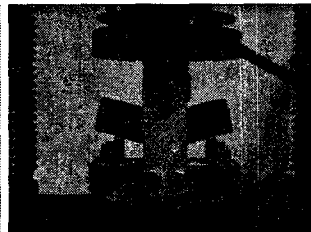
Type	Component	Density (g/cm ³)	Viscosity (cps)
Resin	Epichlorohydrin etc.	1.16	12~14
Hardener	Poly-amide	0.95	9,300

2.3 시험방법

에폭시수지의 점도 측정은 KS M 3822의 「에폭시수지 및 경화제의 점도 시험방법」에 준하여 실험을 실시하였다. 실험 방법은 Picture 1과 같이 Brook field 점도계를 이용하여 레올로지를 측정하였다. 시험체 제작은 Picture 2와 같이 JIS 몰드에 타설하여 재령 7일에 대한 압축강도와 휨강도를 측정하였으나 단성체로서 측정이 불가능하였다.



Picture 1 The Method of Experiment



Picture 2 The Measurement of Specimen

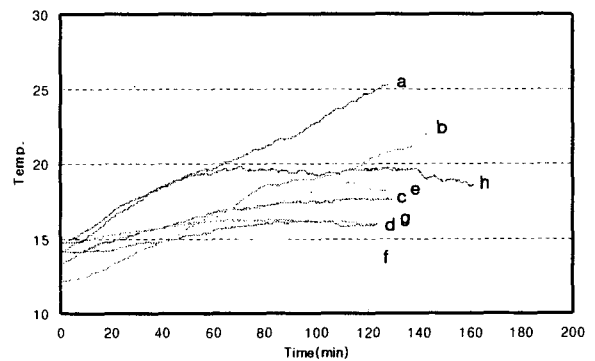
3. 실험결과 및 고찰

3.1 발열온도

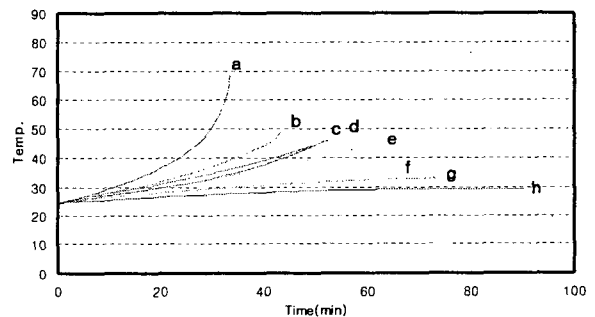
Fig. 1은 온도 조건 및 경화제 비율에 따른 경시변화를 나타낸 것으로 주변 환경온도가 높을수록 짧은 시간에 발열하는 것으로 나타났다. 10℃의 경우 20, 30℃의 조건과는 달리 경화제의 비율에 따라 별 차이가 없는 것으로 나타났으며, 20℃의 경우 급격하게 증가하는 2.0:2.0(a)의 경우를 제외하고는 거의 비

례적으로 온도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 30℃의 경우 2.0:0.8(g), 2.0:0.6(h)을 제외하고는 시간에 따라 온도가 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다.

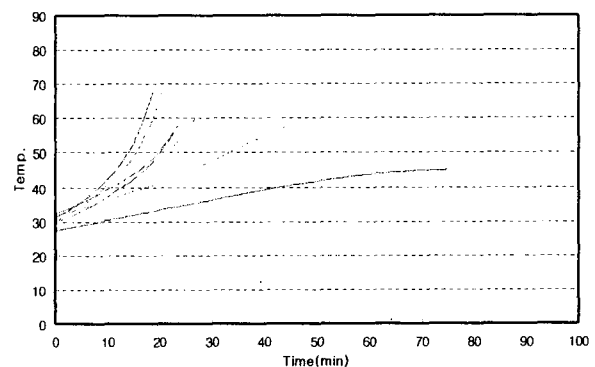
또한 에폭시수지와 경화제의 비율로 보면 20, 30℃의 경우 주변온도와 상관없이 비율이 증가할수록 발열되는 온도가 짧은 시간에 나타나는 것을 알 수 있으며, 경화제의 비율이 감소할수록 시간이 오래 걸리는 것을 알 수 있다. 하지만, 10℃의 경우 경화제의 비율에 상관없이 거의 유사한 경향을 보이고 있다. 이는 주변의 낮은 온도가 발열을 억제하여 이러한 결과를 나타내는 것으로 사료된다.



(a) Temperature 10℃



(b) Temperature 20℃



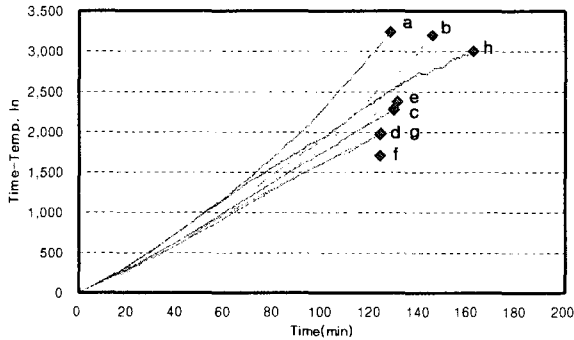
(c) Temperature 30℃

Fig. 1 The temperature of exothermic according to time

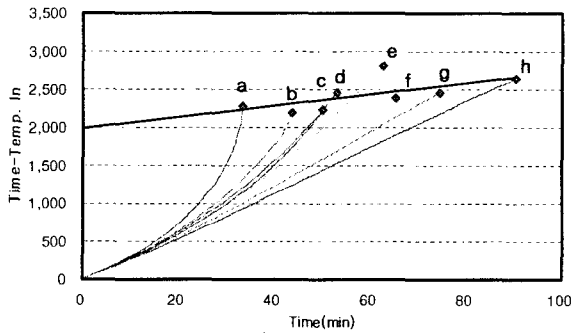
3.2 시간-온도 적산

Fig. 2는 온도 조건 및 경화제 비율에 따른 경시변화를 나타낸 것으로 10℃를 제외한 20, 30℃에서는 시간경과에 따라 시간-온도 적산이 증가하는 것으로 나타났으며, 증가 추세는 선

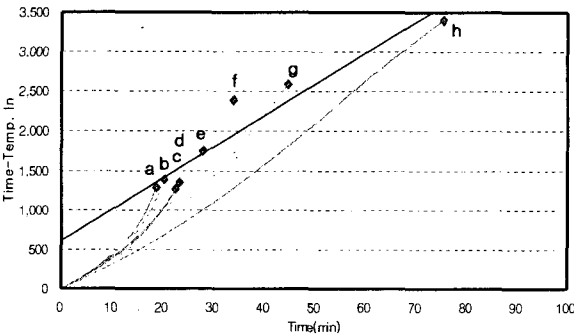
형의 관계로 나타났다. 또한 경화제의 비율이 증가함에 따라 시간-온도 적산의 관계는 30°C의 2.0:0.6(h)을 제외 하고는 20°C에 비해 30°C가 심하게 감소하는 것으로 나타났다. 이는 2.0:0.6(h)의 경우 경화제의 양이 적어 발열하는데 부족한 것이 라고 사료된다. 2.0:0.6(h)을 제외한 나머지의 관계로 보면, 주변 환경 온도와 경화제비율은 경화속도에 영향을 주며, 작업시간과 시공성을 고려할 경우에는 경화제 비율이 매우 중요한 것으로 사료된다.



(a) Temperature 10°C



(b) Temperature 20°C



(c) Temperature 30°C

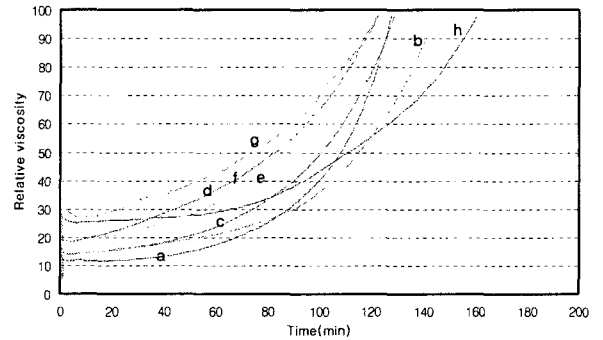
Fig. 2 The time-temperature integration according to time

3.3 상대점도

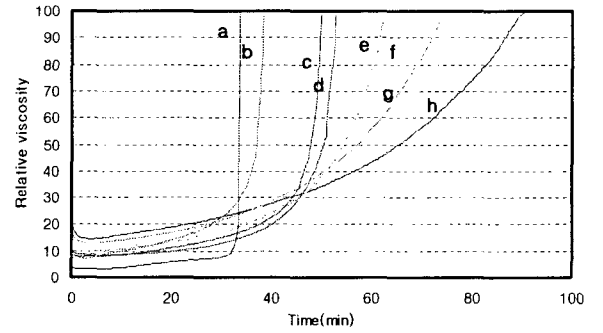
Fig. 3은 온도 조건 및 경화제 비율에 따른 경시변화를 나타낸 것으로 주변 환경 온도와는 상관없이 일정시간의 경과 후에는 경화가 되어 상대점도 100이 되는 것으로 나타났다. 20, 30°C의 경우 경화제의 비율이 증가함에 따라 주변 온도와는 상관없이 일정하게 시간이 감소하는 것으로 나타났으나, 10°C의 경우 20, 30°C의 경우에 비해 경화제 비율에 따른 시간의 변화

가 거의 없는 것으로 나타났다.

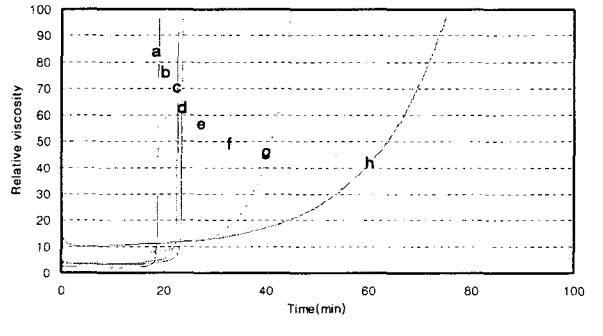
따라서 경제성을 고려 할 경우, 10°C일 때, 경화시간에 별 차이가 없으므로, 2.0:0.6(h)을 제외하고는 어떤 배합을 사용하여도 문제가 없을 것으로 사료된다. 또한 경화제의 비율이 증가함에 따라 20, 30°C 모두 경화시간이 감소하는 것으로 나타났으며, 경제성을 고려할 경우 2.0:0.6(h)을 사용하는 것이 바람직하나, 현장조건에 맞는 시공시간을 고려하여 적절한 경화제 비율을 선택하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.



(a) Temperature 10°C



(b) Temperature 20°C



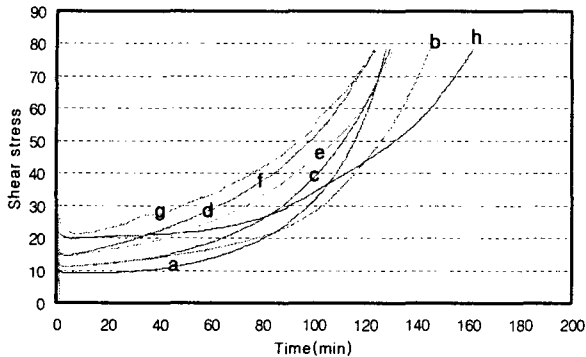
(c) Temperature 30°C

Fig. 3 The relative viscosity of exothermic according to time

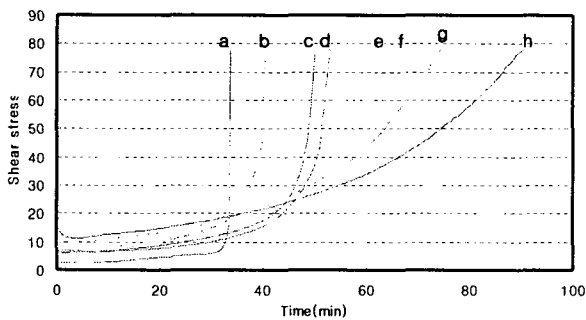
3.4 전단응력

Fig. 4는 온도 조건 및 경화제 비율에 따른 경시변화를 나타낸 것으로 상대점도와 거의 유사한 경향을 보이고 있다. 온도 조건 20, 30°C에서는 경화제의 비율이 증가함에 따라 경화시간이 감소되는 것으로 나타났으며, 그 차이는 20°C일 경우보다 30°C일 경우 짧은 것으로 나타났다. 또한, 10°C의 경우 경화시간은 경화제 비율에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났

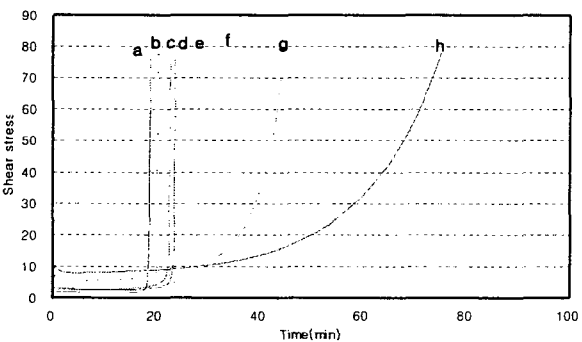
며, 온도가 높아질수록 전단응력의 증가가 급격하게 증가하는 것을 나타냈다.



(a) Temperature 10°C



(b) Temperature 20°C



(c) Temperature 30°C

Fig. 4 The shear stress of exothermic according to time

4. 결론

- 1) 주변 환경온도가 높을수록 짧은 시간에 발열하고 시간경과에 따라 시간-온도 적산이 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 상대점도의 경우 온도와는 상관없이 일정시간 경과 후에는 경화가 되어 상대점도 100이 되는 것을 알 수 있다.
- 2) 경화제의 비율이 증가할수록 20, 30°C의 경우 주변온도와 상관없이 비율이 증가할수록 발열되는 속도가 빠르며, 상대점도의 경우 주변온도와는 상관없이 일정하게 시간이

감소하는 것으로 나타났다. 하지만, 10°C의 경우 경화제의 비율에 상관없이 거의 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 또한,

- 3) 급결을 요구하는 공사에서 사용되어지는 수중경화형 에폭시는 시공성을 고려할 경우 동결기 공사시, 재료의 온도를 높게 하여 경화를 촉진시키고, 하절기의 경우 재료를 냉각시켜 사용한다면 목표로 하는 시공속도에 맞추어 에폭시의 경화 속도를 적절히 조절하는 것이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.
- 4) 에폭시수지와 경화제의 비율은 화학적인 당량에 의해서 결정되어 사용되어왔지만, 시공성과 경계성을 고려할 경우에는 상황에 맞는 경화제 비율을 검토하여 사용해야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 (주)리폼연구소와 공주대학교 자원재활용신소재 연구센터(RIC/NMR)가 공동으로 수행한 연구의 일부이며 관계 기관에 감사의 말씀을 올립니다.

참고 문헌

1. 김도겸, 유영찬, 이장화, 박승범, RC구조물 보수용 에폭시 레진의 물리·화학적 특성 고찰, 한국콘크리트학회 pp. 571~578
2. 한만엽, 송병표, 이원창, 연구석, 에폭시 레진의 장기적인 특성연구, 한국콘크리트학회, pp. 89~94
3. 박덕준, 박상훈, 이대경, 배기선, 김진만, 백신원, 수중 및 환경구조물 보수용 에폭시 모르타르의 경화제 종류에 따른 공학적 특성에 관한 연구, 한국콘크리트학회, pp. 277~280
4. 김진만, 박은구, 이대경, 조성현, 배기선, 정은혜, 온도 및 경화제 비율에 따름 수중경화형 에폭시수지의 레올로지 특성, 한국콘크리트학회, pp. 761~764
5. 김진만, 박은구, 이대경, 조성현, 배기선, 정은혜, 석분슬래지를 이용한 수중경화형 에폭시 모르타르의 개발에 관한 기초적 연구, 한국콘크리트학회, pp. 409~412
6. 이대경, 이상욱, 조성현, 박덕준, 배기선, 오상근, 다기능성 슬래그 골재를 이용한 보수용 모르타르의 개발에 관한 연구, 한국콘크리트학회, pp. 281~284
7. 박은구, 조성현, 박상훈, 배기선, 장원석, 김진만, 급냉 제강 슬래그의 대체율에 따른 수중 경화형 에폭시 모르타르의 공학적 특성, 한국콘크리트학회, pp. 401~404
8. 김진만, 박은구, 이대경, 배기선, 장원석, 급냉 제강 슬래그를 이용한 에폭시 수지 모르타르 현장 적용에 관한 기초적 연구, 한국콘크리트학회, pp.405~408