샤르피 충격 실험에 의한 혼화제 포함 시멘트 페이스트의 내충격성 평가

Impact Resistance Evaluation of Cement Pastes Including Admixtures by Charpy Impact Tests

응유엔 트리* · 김정중**

Nguyen, Tri*, and Kim, Jung Joong**

Abstract

The objective of this study is to investigate the effect of admixtures on the impact resistance of hardened cement pastes. Latex polymer and silica fume were selected additives for this study. The specimens for cement pastes with silica fume were produced by replacing 5% and 10% (by weight) of cement contents with silica fume, while those with latex polymer were produced by adding as much as 5% and 10% (by weight) of latex polymer and reducing the water content by as much as twice the added latex polymer contents. All specimens were prepared with a water to binder ratio of 0.5. The impact resistance was determined through Charpy impact experiments, and the results showed enhanced impact resistances from both additives. Additionally, the influence of different dosage contents of latex polymer and silica fume were also clarified in this study.

Key words : Impact Resistance, Cement Paste, Latex Polymer, Silica Fume, Charpy Impact Test

요 지

본 연구의 목적은 경화된 시멘트 페이스트의 내충격성에 혼화제가 미치는 영향을 실험적으로 평가하는 것이다. 혼화제로는 실리카퐁과 라텍스 폴리머가 사용되었다. 실리카퐁을 혼합한 시멘트 페이스트시편은 실리카퐁을 시멘트 무게의 5%와 10%로 대체하는 것으로 제작 하였다. 라텍스 폴리머를 혼합한 시멘트 페이스트 시편은 액상 라텍스 폴리머를 시멘트 무게의 5%와 10%로 추가하고 투입된 액상 폴리머 무게의 2배 만큼 물의 양을 감소하여 제작하였다. 모든 시편의 물 바인더 비는 0.5를 사용하였다. 내충격성은 샤르피 충격 실험으로 평가하였다. 실험 결과 라텍스 폴리머와 실리카퐁 혼합 시 내충격성이 향상되었고, 라텍스 폴리머와 실리카퐁의 혼합 양에 따른 내충격성의 차이도 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 내충격성, 시멘트 페이스트, 라텍스 폴리머, 실리카퐁, 샤르피 충격 실험

1. 서 론

콘크리트는 준취성(Quasi-brittle) 재료로써 충격 하중에 취약하다. 하지만, 유리와 같은 취성 재료보다는 어느 정도의 충격 저항성을 가진다. 이러한 내충격성은 콘크리트의 양생 조건, 배합비, 골재의 표면 특성, 바인더와 골재 사이의 결합

과 같은 많은 요소에 의해 영향을 받는다. 습윤 상태 보다 건조 상태에서 양생 시 콘크리트의 에너지 흡수 능력이 높게 나타났으며(Green, 1964), 골재의 표면이 거칠수록 콘크리트의 충격 저항력이 증가하였다(Neville, 2005).

혼화제가 포함된 콘크리트의 에너지 흡수 능력에 대한 많은 연구가 있었으며, 콘크리트의 에너지 흡수 능력을 향상

*정회원, 경남대학교 토목공학과 박사과정(E-mail: nguyennhatminhtri@gmail.com)

Member, Ph.D. student, Department of Civil Engineering, Kyungnam University

**교신저자, 정회원, 경남대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-55-249-6421, Fax: +82-505-999-2165, E-mail: jungkim@kyungnam.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Kyungnam University

시키기 위해 실리카폼과 라텍스 폴리머와 같은 혼화제를 사용하였다(Shaker et al., 1997; Rao, 2003). 콘크리트의 연성을 향상시킬 목적으로 라텍스 폴리머를 첨가하였으며(Shaker et al., 1997), 실리카폼을 혼합하여 콘크리트의 강도를 향상시켰다. 콘크리트 강도 및 연성의 증가는 에너지 흡수 능력의 증가로 이어지며, 콘크리트의 내충격성이 향상된다. 충돌에 대한 방호 콘크리트의 경우 내충격성 향상으로 인하여, 구조물의 파괴량 감소 및 파괴 콘크리트의 비산량, 비산거리 감소 효과를 얻을 수 있을 것이다.

콘크리트의 내충격성을 평가하기 위한 다양한 실험 방법이 있다. 충격원을 자유낙하 시키거나(KS F 4770-1 2015), 고속의 발사체를 사용하는 방법이 있다(Kang et al., 2016). 샤르피 충격 실험은 일반적으로 강재나 플라스틱의 충격 저항 측정을 위해 사용되는 실험 방법이지만, 시멘트 페이스트와 같은 준취성 재료의 내충격성 평가에도 적합한 실험 방법으로 알려져 있다(Vallens et al., 2001; Fracais and Pineau, 2002; Tahmasebinia, 2008).

본 연구의 목적은 라텍스 폴리머와 실리카폼의 혼합량이 시멘트 페이스트의 내충격성에 미치는 영향을 실험적으로 평가하는 것이다.

2. 실험방법

2.1 재료

본 연구에서 사용된 라텍스 폴리머의 충고체량(TSC)은 47%이며, 고체 입자의 평균 크기는 1600 Å이다. 라텍스 폴리머의 pH는 9-11로 알칼리성이며, 비중은 1.09이다. 라텍스 폴리머의 재료 특성을 Table 1에 수록하였다. 실리카폼의 경우 실리카(SiO_2)의 함량이 90% 이상이며, 45 μm 체의 잔류율은 1.5% 이하이다. 실리카폼의 재료 특성을 Table 2에 수록하였다.

Table 1. Properties of JAPT 15202

Properties	Unit	Specification
TSC	%	47.0
pH		9-11
Specific gravity		1.09
Average Particle size	Å	1,600

Table 2. Properties of SF Grade 940-U

Properties	Unit	Specification
SiO_2	%	> 90
Retention on 45 μm sieve	%	< 1.5
H_2O (when packed)	%	< 1.0
Density	kg/m^3	600

시편의 제작을 위한 배합은 Table 3에 정리하였다. Table 3에서 C, W, P, SF는 각각 시멘트, 물, 라텍스 폴리머, 실리카폼의 양을 의미한다. CP는 콘트롤 페이스트이고, 실리카폼을 혼합한 시멘트 페이스트 시편(SF MCP)은 실리카폼을 시멘트 무게의 5%와 10%로 대체하는 것으로 제작하였다. 라텍스 폴리머를 혼합한 시멘트 페이스트 시편(Latex P MCP)은 액상 라텍스 폴리머를 시멘트 무게의 5%와 10%로 추가하고 라텍스 폴리머의 계면활성 작용을 고려하여 투입된 액상 폴리머 무게의 2배 만큼 물의 양을 감소하여 제작하였다. 모든 시편의 물 바인더 비는 최대 0.5를 사용하였다.

Table 3. Mixture Designs (kg/m^3)

Label	C	W	P	SF
CP	1223	611.5		
5% Latex P MCP	1310	524	65.5	
10% Latex P MCP	1410	423	141	
5% SF MCP	1152	606		60.6
10% SF MCP	1083	601.5		120.3

시편의 제작은 ASTM C305-14 (ASTM C305-14 2014)를 따라 수행되었다. 샤르피 실험을 위한 10 mm × 10 mm × 50 mm 프리즘 15개, 압축강도 실험을 위한 50 mm × 50 mm × 50 mm 큐브 3개를 배합별로 제작하였다. 24 시간 후 탈형하여 수중 양생하였다. 샤르피 실험은 3일, 7일, 28일 양생 시편에 대하여 3개씩 수행하였으며, 압축강도 실험은 28일 압축강도를 측정하였다. 압축강도 시험은 ASTM C109/C109M (2016)에 따라 수행되었다.

2.2 샤르피 충격 실험

샤르피 충격 실험을 위한 시편은 ASTM D6110-10에 따라 Fig. 1에 보인 V노치를 가진 프리즘으로 제작하였다. V노치의 깊이 a는 2 mm이고, $2\beta = 45^\circ$, $\rho = 0.25$ mm, W = B = 10 mm, 시편 길이는 50 mm이다.

Fig. 1. Geometry and Dimension of Charpy V-notch Test Sample

충격 실험은 Fig. 2에 보인 샤르피 충격 장치에 의해 수행되었다. 700 g의 펜덜럼 무게추를 43 cm 높이에서 낙하시켜 약 3J의 충격 에너지를 시편에 가한다. 시편의 파괴에 사용된

에너지를 제외한 에너지에 의해 반대편으로 올라가는 무게 추의 높이가 결정될 것이며, 이로부터 시편의 파괴에 사용된 에너지를 구한다. 충격에너지의 일부는 장비의 진동과 파괴된 시편의 운동 에너지로도 사용되기 때문에 측정된 값이 모두 파괴에 관여한 에너지의 양은 아니다. 본 연구에서 사용된 샤르피 충격 장치는 이 수치를 자동으로 계산하여 화면에 나타낸다. 내 충격성은 시편의 파괴에 사용된 에너지를 시편의 파괴면으로 나눈 값을 사용하였다.

Fig. 2. The Charpy Impact Instrument

3. 결과 및 토의

3.1 내충격성

Table 4에 샤르피 충격 실험으로부터 얻어진 내충격성 결과를 정리하였다. 각각의 결과는 시편 5 개의 평균값이다.

Table 4. Impact Resistance Result (J/m^2)

age (Days)	3	7	28
Mixture design			
Plain paste	7300	11208	10658
5% Latex P MCP	6950	11357	14798
10% latex P MCP	7285	11918	15111
5% SF MCP	3614	13548	15321
10% SF MCP	6565	16705	18211

Fig. 3에는 라텍스 폴리머를 혼합한 시멘트 페이스트와 혼합하지 않은 페이스트의 내충격성을 양생 기간에 따라 비교하였다. 라텍스 폴리머를 혼합한 시멘트 페이스트의 경우, 양생 3일에서는 내충격성이 일반 페이스트 보다 작았다. 양생 7일부터 라텍스 폴리머를 혼합한 시멘트 페이스트의 내충격성이 일반 페이스트보다 커지기 시작하였으며, 28일 양생 후에는 라텍스 폴리머 5%를 혼합한 시멘트 페이스트는 일반 페이스트의 1.38배, 10%를 혼합한 시멘트 페이스트는 1.42배의 내충격성을 나타냈다.

트는 일반 페이스트의 1.38배, 10%를 혼합한 시멘트 페이스트는 1.42배의 내충격성을 나타냈다.

Fig. 3. Effect of Latex Polymer to the Impact Resistance of Cement Paste

Fig. 4에는 실리카폼을 혼합한 시멘트 페이스트와 혼합하지 않은 페이스트의 내충격성을 양생 기간에 따라 비교하였다. 실리카폼을 혼합한 시멘트 페이스트의 경우도 라텍스 폴리머를 혼합한 경우와 마찬가지로, 양생 3일에서는 내충격성이 일반 페이스트 보다 작았다. 양생 7일부터 실리카폼을 혼합한 시멘트 페이스트의 내충격성이 일반 페이스트보다 커지기 시작하였으며, 28일 양생 후에는 실리카폼 5%를 혼합한 시멘트 페이스트는 일반 페이스트의 1.44배, 10%를 혼합한 시멘트 페이스트는 1.7배의 내충격성을 나타냈다.

Fig. 4. Effect of Silica Fume to the Impact Resistance of Cement Paste

실리카폼은 시멘트의 수화반응으로 생성된 수산화칼슘과 반응하여 칼슘 실리케이트 수화물을 만들기 때문에, 실리카폼을 혼합한 시멘트 페이스트는 일반 시멘트 보다 강도의 발현이 늦어진다. 3일 양생 시편에서 실리카폼을 혼합한 시멘트 페이스트의 내충격성이 혼합하지 않은 시멘트 페이스트 보다 낮은 이유는 실리카폼을 혼합한 시멘트 페이스트의 강도 발현이 늦어졌기 때문으로 판단된다(Neville, 2005; Bhalla et al., 2018).

3.2 압축강도

28일 압축강도 실험 결과를 Fig. 5에 보였다. 일반 시멘트 페이스트의 경우 압축강도는 28.9 MPa로 측정되었다. 라텍

스 폴리머를 5%, 10% 혼합한 시편의 경우 압축강도는 각각 29.5 MPa, 32.8 MPa로 측정되었다. 라텍스 폴리머가 5% 포함된 시편의 경우에 압축강도는 증가하지 않았지만, 내충격성은 1.38배 증가하였다. 라텍스 폴리머가 10% 혼합된 경우에는 압축 강도는 1.18배 증가하였으며, 내충격성은 1.42배 증가하였다. 실리카폼을 5%, 10% 혼합한 시편의 경우 압축강도는 각각 32.1 MPa, 35.5 MPa로 측정되었다. 실리카폼이 5% 포함된 시편의 경우에 압축강도는 1.11배 증가하였으며, 내충격성은 1.44배 증가하였다. 실리카폼이 10% 혼합된 경우에는 압축 강도는 1.23배 증가하였으며, 내충격성은 1.7배 증가하였다.

Fig. 5. Compressive Strength at 28 Days of the Fresh Paste and Modified Pastes

라텍스 폴리머를 혼합한 경우와 실리카폼을 혼합한 경우 모두 내충격성의 증가 원인은 압축강도의 증가와 파괴 변형률의 증가일 것이다(Marar et al., 2001; Murali et al., 2014; Mosaberpanah and Eren, 2016). 특히, 라텍스 폴리머를 혼합한 경우는 파괴 변형률의 증가가 주된 원인일 것이며, 실리카폼을 혼합한 경우는 압축강도의 증가가 주된 원인일 것이다.

Table 5. Impact Resistance and Compressive Strength at the Age of 28 Days Results

Mixture design	Impact resistance (J/m^2)	Compressive strength (MPa)
Plain paste	10658	28.9
5% latex P MCP	14798	29.5
10% latex P MCP	15111	32.8
5% SF MCP	15321	32.1
10% SF MCP	18211	35.5

Table 5에 28일 압축강도와 28일 내충격성을 비교하였다. 압축강도의 증가와 함께 내충격성도 증가하고 있다.

라텍스 폴리머와 실리카폼의 혼합량에 따른 내충격성을 각각 Figs. 6과 7에 도시하였다. 라텍스 폴리머의 혼합량에 따른 내충격성의 경우에 대하여 Fig. 6에 보인 것처럼 라텍스 폴리머의 증가에 비례하여 내충격성이 선형적으로 증가하지 않고, 그 증가세가 감소하고 있다. 라텍스 폴리머의 혼합량에 따른 내충격성의 증가는 선형회귀 R값이 0.8229인 반면,

실리카폼의 혼합량에 따른 내충격성의 증가는 선형회귀 R값이 0.9978로 매우 선형적인 관계를 보이고 있다.

Fig. 6. Relationship Between Latex Polymer Contents and Impact Resistance

Fig. 7. Relationship Between Silica Fume Contents and Impact Resistance

4. 결 론

본 연구는 라텍스 폴리머 또는 실리카폼이 시멘트 페이스트의 내충격성에 미치는 영향을 확인하기 위한 실험적 연구이다.

라텍스 폴리머를 포함한 시멘트 페이스트는 내충격성이 향상 되었으며, 이는 시멘트 페이스트의 파괴 변형률을 향상 시킨 결과에 기인하는 것으로 판단된다. 라텍스 폴리머를 5%포함한 시멘트 페이스트와 10% 포함한 시멘트 페이스트의 내충격성은 큰 차이를 보이지 않았다. 라텍스 폴리머의 함유량 증가가 시멘트 페이스트의 내충격성과 선형적으로 비례하지 않고, 일정값에 수렴하였다. 향후, 내충격성 향상을 위한 라텍스 폴리머의 최적 함유량이 도출될 수 있을 것이다.

실리카폼을 포함한 시멘트 페이스트 또한 내충격성이 향상 되었다. 이는 시멘트 페이스트의 압축강도 증가에 기인한 것으로 판단된다. 실리카폼을 5%포함한 시멘트 페이스트와 10% 포함한 시멘트 페이스트의 내충격성은 큰 차이를 보였으며, 실리카폼의 함유량과 선형적으로 비례하였다.

본 연구에서 사용된 샤르피 충격 실험은 연성재료 뿐만 아니라 시멘트 페이스트와 같은 준취성 재료의 내충격성을 결정하는 데 효과적인 방법으로 사용될 수 있다. 또한, 일반 강도를 가지는 콘크리트의 경우에 충격에 의한 파괴 면은

시멘트 페이스트를 따라 발생한다. 그러므로 시멘트 페이스트의 내충격성은 콘크리트의 내충격성과 밀접한 관계를 가질 것이다. 향후 추가적인 실험을 통하여 이를 입증할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2018년도 국토교통부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원(KAIA)의 지원을 받아 수행한 연구 과제 (17RTRP-B122273-02)입니다.

References

- ASTM C109/C109M-16a. (2016). *Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (Using 2-in. or [50-mm] cube specimens)*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C305-14. (2014). *Standard practice for mechanical mixing of hydraulic cement pastes and mortars of plastic consistency*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Bhalla, N., Sharma, S., Sharma, S., and Siddique, R. (2018). Monitoring early-age setting of silica fume concrete using wave propagation techniques. *Construction and Building Materials*, Vol. 162, pp. 802-815.
- Fracois, D., and Pineau, A. (2002). *From Charpy to present impact testing*. Oxford, UK: Elsevier Science Limited.
- Green, H. (1964). Impact strength of concrete, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Vol. 28, No. 3, pp. 383-396.
- Kang, T.H.-K., Kim, S.-H., Kim, M.-S., and Hong, S.-G. (2016). Impact resistance of UHPC exterior panels under high velocity impact load. *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 28, No. 4, pp. 455-462. (in Korean)
- KS F 4770-1. (2015). *Soundproof panel-Metallic*. Korea Agency for Technology and Standards.
- Marar, K., Eren, Ö., and Celik, T. (2001). Relationship between impact energy and compression toughness energy of high-strength fiber-reinforced concrete. *Materials Letters*, Vol. 47, No. 4-5, pp. 297-304.
- Mosaberpanah, M.A., and Eren, O. (2016). Relationship between 28-days compressive strength and compression toughness factor of ultra high performance concrete using design of experiments. *Procedia Engineering*, Vol. 145, pp. 1565-1571.
- Murali, G., Santhi, A.S., and Ganesh, G.M. (2014) Empirical relationship between the impact energy and compressive strength for fiber reinforced concrete. *Journal of Scientific & Industrial Research*, Vol. 73, pp. 469-473.
- Neville, A.M. (2011). *Properties of concrete* (5th ed.). Pearson Education Limited, Essex, UK.
- Rao, G.A. (2003). Investigations on the performance of silica fume-incorporated cement pastes and mortars. *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, No. 11, pp. 1765-1770.
- Shaker, F.A., El-Dieb, A.S., and Reda Taha, M.M. (1997). Durability of styrene-butadiene latex modified concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 27, No. 5, pp. 711-720.
- Tahmasebinia, F. (2008). Finite element simulation of reinforced concrete structures under impact accident. *Structure Survey*, Vol. 26, No. 5, pp. 445-454.
- Vallens, K., Bescher, E., Mackenzie, J.D., and Rice, E. (2001). A new technique for the measurement of impact resistance of wall coatings. *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, pp. 965-968.

Received ■ September 6, 2018

Revised ■ September 10, 2018

Accepted ■ September 18, 2018