

폐유지류가 혼화재 다량 치환 콘크리트의 내구성에 미치는 영향

Effect of Waste Cooking Oil on Durability of High Volume Mineral Admixture Concrete

한민철^{1*} · 우대훈²Min-Cheol Han^{1*} · Dae-Hoon Woo²

(Received October 7, 2013 / Revised December 3, 2013 / Accepted December 11, 2013)

This paper is to investigate an effect of waste cooking oil(WCO) on the engineering properties and durability of high volume admixture concrete. Fly ash with 30% and blast furnace slag with 60% were incorporated in OPC to fabricate high volume admixture concrete with 0.5 of W/B. Emulsified refining cooking oil(ERCO) was made by mixing WCO and emulsifying agent to improve fluidity. ERCO was replaced by cement from 0.25 to 1.0%. As results, the increase of ERCO resulted in decrease of slump and air contents. For compressive strength, the use of ERCO led to decrease the compressive strength at 28 days, while it had similar strength or much higher strength than plain concrete at 180 days. Resistance to carbonation and chloride penetration was improved with the increase of ERCO contents due to decreased pore distribution by saponification between ERCO and concrete, while freeze-thaw resistance was degraded due to air loss.

키워드 : 혼화재다량치환 콘크리트, 내구성, 정제유지, 모세관공극, 탄산화 저항성

Keywords : High volume admixture concrete, Durability, Waste cooking oil, Capillary pore, Carbonation resistance

1. 서론

최근 전 세계적으로는 지속가능 발전을 위한 노력으로 CO₂ 저감 대책이 다각적으로 고려되고 있다. 콘크리트를 중심으로 하는 건설 산업에서도 이와 같은 대책의 일환으로 CO₂ 배출량이 가장 많은 시멘트(이하 OPC) 사용량을 줄이도록 고로슬래그 미분말(이하 BS)이나 플라이애쉬(이하 FA)와 같은 광물질 혼화재의 치환율을 높이는 방향으로 레미콘을 생산하고 있다.

그런데, 이러한 혼화재 다량 사용 콘크리트는 유동성 증진, 장기 강도 우수 및 수화발열량 저감 등의 장점이 있는 반면, 수화반응 지연에 의한 초기강도 저하 및 탄산화 촉진에 따른 건축물의 수명이 단축되는 단점도 있어, 이에 대한 적절한 대책이 요구되고 있다.(Khunthongkeaw J, 2006, Atis C D, 2003, Shi H S, 2009)

이에 따라 기존의 방법으로는 콘크리트 표면도포에 의한 피막

을 형성하여 내부에 CO₂의 침투를 물리적으로 방지하거나, 알칼리 회복제의 도포에 의해 철근 부식을 방지하는 방법 등이 있으나, 이와 같은 방법은 지속적인 유지관리가 요구되고 재료의 단가가 고가인 단점이 있다.

기존의 연구(Han C G, 2011)에서는 폐유지류(이하 WCO)의 주성분인 지방산이 콘크리트의 알칼리와 반응할 경우 비누화 반응을 유발하고 여기에서 생성된 물질이 모세관 공극을 충전하여 세공률을 감소시켜 고강도 콘크리트의 자기수축 저감에 기여함을 보고한 바 있다. 그런데, WCO의 이러한 모세관 공극 충전효과는 외부로부터 H₂O, CO₂등을 콘크리트 내부로 침투하는 것을 억제할 수 있을 것으로 판단되어 특히 전술한 바와 같이 혼화재 다량치환 콘크리트에서 가장 문제시되는 탄산화 촉진 문제를 효과적으로 방지할 수 있을 것으로 추측된다.

따라서, 본 연구에서는 혼화재 다량 치환콘크리트의 탄산화 억제방법으로서 WCO를 유동성 향상을 목적으로 유화처리한 폐유지

* Corresponding author E-mail: twhan@cju.ac.kr

¹청주대학교 건축공학과 부교수, 공학박사 (Associate Professor, Dr. Eng., Dept. of Architectural Engineering, Cheong-ju Uni., Korea)

²청주대학교 대학원, 박사과정 (Doctor's Course, Dept. of Architectural Engineering, Cheong-ju Uni., Korea)

류(Emulsified refined cooking oil ; ERCO)를 콘크리트에 혼입하여 이들이 혼화재 다량치환 콘크리트의 탄산화를 포함한 내구성에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하고자 한다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고 콘크리트의 배합사항은 Table 2와 같다.

먼저, 물-결합재비(W/B)는 50%의 1수준에 대하여, 결합재로는 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC) 100%, 플라이애시(이하 FA)

Table 1. Design of experiment

Factors			Levels	
Mixture	W/B (%)		1 50	
	Target slump (mm)		1 180 ± 25	
	Target air (%)		1 4.5 ± 1.0	
	Binder replacement ratio (C%)	OPC ¹⁾	3	100
		OPC : BS ²⁾		40 : 60
		OPC : FA ³⁾		70 : 30
ERCO content		4 0.00, 0.25, 0.50, 1.00		
Experiment	Fresh concrete		2 · Slump · Air content	
	Hardened concrete		5 · Carbonation · Freeze-thaw · Chloride attack · Sulfate resistance · Porosity by MIP	

Table 2. Mix proportions of the concretes

Binder	W/B (%)	ERCO (%)	Water contents (kg/m ³)	S/a (%)	AE/C (%)	SP/C (%)	Unit weight (kg/m ³)				
							C	FA	BS	S	G
OPC	50	0	180	46	0.04	1.0	360	0	0	802	960
		0.25	179		0.04	1.0					
		0.5	178		0.06	1.1					
		1	176		0.09	1.1					
FA 30	50	0	180	46	0.04	0.9	252	108	0	775	1011
		0.25	179		0.04	0.9					
		0.5	178		0.06	1.0					
		1	176		0.09	1.0					
BS 60	50	0	180	46	0.04	1.0	144	0	216	795	951
		0.25	179		0.04	1.0					
		0.5	178		0.06	1.1					
		1	176		0.09	1.1					

30%치환, 고로슬래그 미분말(이하 BS) 60%를 단독 치환한 것으로 총 3수준으로 실험계획 하였으며, 실험사항으로는 압축강도, 내구성 평가항목중 촉진탄산화, 내염해성, 동결융해 저항성 및 내황산염 실험을 진행하였고, 미시적분석으로 Mercury Intrusion Prosimetry(MIP)에 의한 세공분포 측정을 실시하는 것으로 하였다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 그 물리·화학적 성질은 Table 3과 같다. 고로슬래그 미분말은 시중에 유통되는 것을 사용하였으며 플라이 애시는 분급 정제된 보령화력산을 사용하였고, 그 물리·화학적 성질은 Table 4 ~ 5와 같다. 또한, 본 실험에 사용한 ERCO는 폐유지류와 유화

Table 3. Physical properties of cement

Density (g/cm ³)	Fineness (cm ² /g)	Stability (%)	Setting time (min)		Compressive strength (MPa)		
			Initial	Final	3 days	7 days	28 days
3.15	3 390	0.05	230	345	24.8	39.3	56.9

Table 4. Physical and chemical properties of blast furnace slag powder

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	L.O.I (%)	Moisture content (%)	Chemical composition (%)				
				MgO	SO ₃	Cl	SiO ₂	CaO
2.90	4 254	1.91	0.23	5.26	1.95	0.002	34.20	42.50

Table 5. Physical and chemical properties of fly ash

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	L.O.I (%)	SiO ₂ (%)	Moisture content (%)
2.21	3 520	4.60	52.3	0.13

Table 6. Physical and chemical properties of ERCO

Oil	Saturated acids (g/kg)	Polyunsaturated acids (g/kg)	Omega-3 resin acids (g/kg)	Monounsaturated acids (g/kg)	Viscosity (cP)	Appearance
ERCO	15	54	8	23	25	Liquid

제를 교반한 것으로서 D사의 제품을 사용하였고, 그 물리·화학적 성질은 Table 6과 같다.

2.3 실험방법

본 연구에 콘크리트 혼합에 사용된 믹서는 강제식 팬타입 믹서를 이용하였고 혼합 순서 및 비빔시간은 Fig.1과 같은 순서에 따라 혼합하였다. 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 및 공기량을 KS F 2402 및 KS F 2409에 의거 측정하였으며, 경화콘크리트의 압축강도는 KS F 2403에 의거 측정하였다.

또한, 내구성 실험으로 촉진 탄산화 실험은 KS F 2584에 의거하여 소정에 재령마다 페놀프탈레인 용액을 이용하여 측정하였으며, 내동해성 실험은 KS F 2456, 염화물 침투 깊이 실험은 KS F 2737규정에 의해 해수에 침지후 소정의 재령마다 질산은 용액을 이용하여 측정을 하였다. 황산염 저항성 실험은 ASTM C 267 규정에 의거하여 28일간 수중 양생을 시킨 시험체를 5% 농도의 황산 마그네슘 1급 시약에 침지하여 소정의 재령마다 동탄성계수를 측정하였다. 세공분포는 MIP 장비에 의해 소정의 재령에서 측정하였다.

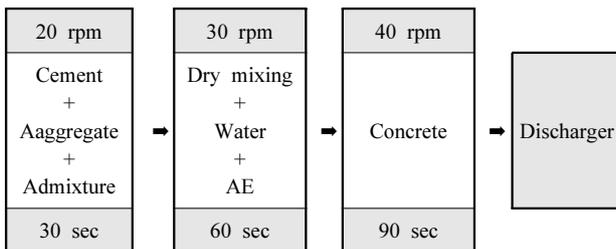


Fig 1. Mixing of concrete

3. 실험결과 및 분석

3.1 콘크리트의 기초적 특성

Fig. 2와 3은 결합재 종류별 ERCO 혼입률 변화에 따른 슬럼프 및 공기량 측정결과를 나타낸 그래프이다. 먼저 OPC를 사용한 경우 경우와 BS를 치환한 경우 폐유지류 혼입률이 증가함에 따라 유동성이 저하하여 0.5 %이상에서는 목표슬럼프에 도달하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 ERCO의 점도가 25 cps로서 물의 점도인 1.0 cps보다 높아 점성이 증대되어 나타난 결과로 사료된다. 반면에 FA를 치환한 경우는 오히려 슬럼프가 증가하는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 FA가 치환됨에 따른 볼베어링 작용에 기인한 것으로 판단된다. 공기량은 ERCO 치환률이 증가할수록 모든 경우에서 목표범위를 하회하는 값을 나타내었는데, 이는 폐유지류의 유화처리시 사용하는 유화제의 소수기가 AE제의 소수기와 흡착

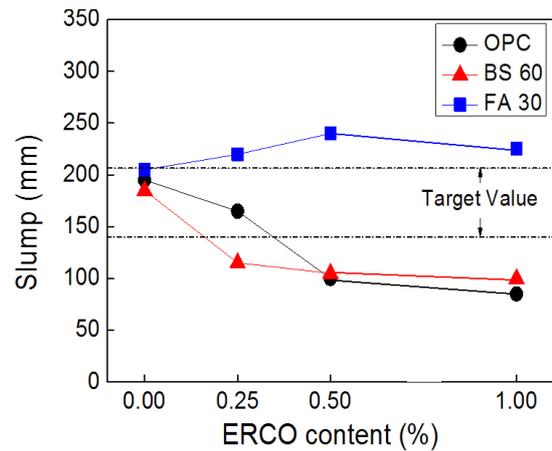


Fig. 2. Slump of concrete

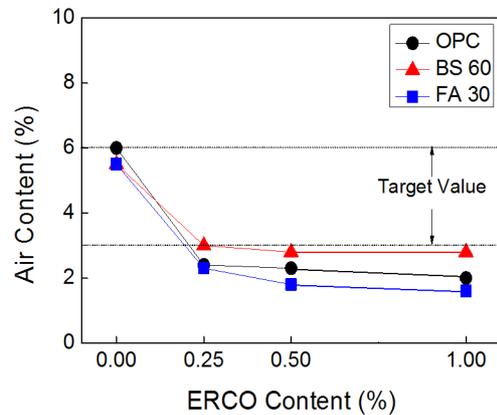


Fig. 3. Air content of concrete

용을 유발하여 AE 공기량이 소실된 것으로 사료된다. 따라서
 한편, Fig. 4 ~ Fig. 6은 결합재 종류 및 재령별 ERCO 혼입에 따른 압축 강도를 나타낸 그래프이다. 재령 7일에서는 BS를 사용한 경우 ERCO 혼입률이 증가할수록 강도가 약간 저하하는 것으로

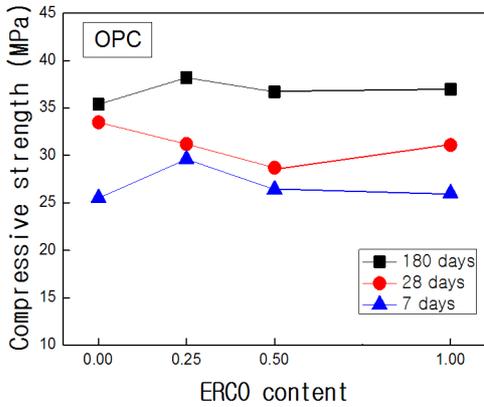


Fig. 4. Compressive strength according to ERCO content (OPC)

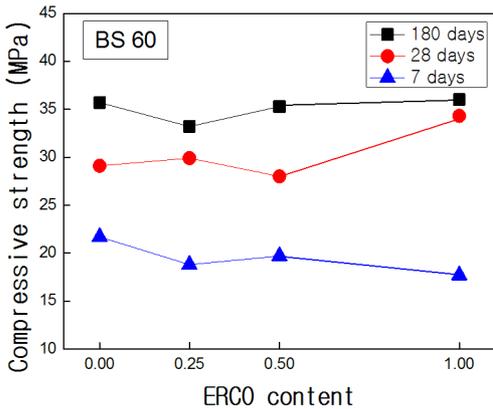


Fig. 5. Compressive strength according to ERCO content (BS)

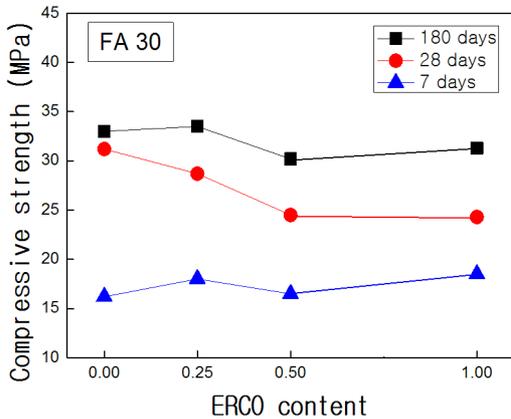


Fig. 6. Compressive strength according to ERCO content (FA)

나타났으나, OPC 및 FA를 사용한 경우는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 재령 28일에서도 ERCO 혼입률이 증가함에 따라 결합재별로 차이는 있으나, 강도가 다소 저하하는 것으로 나타났다. 반면 재령 180일에서는 전체적으로 ERCO 혼입률이 증가함에 따른 강도 저하비율이 작아지는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 장기 재령에서 활성화된 포졸란 반응 및 잠재수경성 반응에 기인된 결과로 사료된다.

3.2 내구특성

3.2.1 탄산화 침투깊이

ERCO 혼입을 변화와 결합재 종류별 재령경과에 따른 콘크리트의 탄산화 침투깊이를 측정된 결과는 Fig. 7과 같다. 결합재 변화에

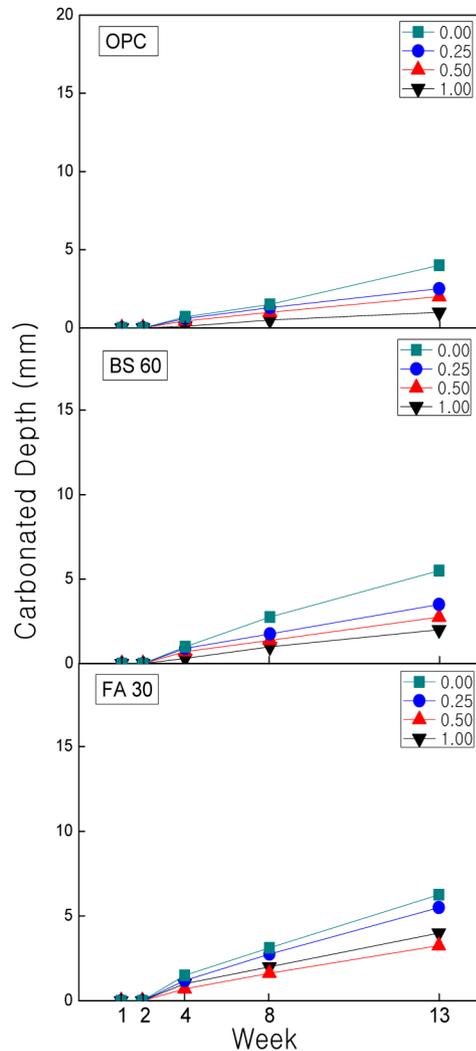


Fig. 7. Carbonation according to ERCO content

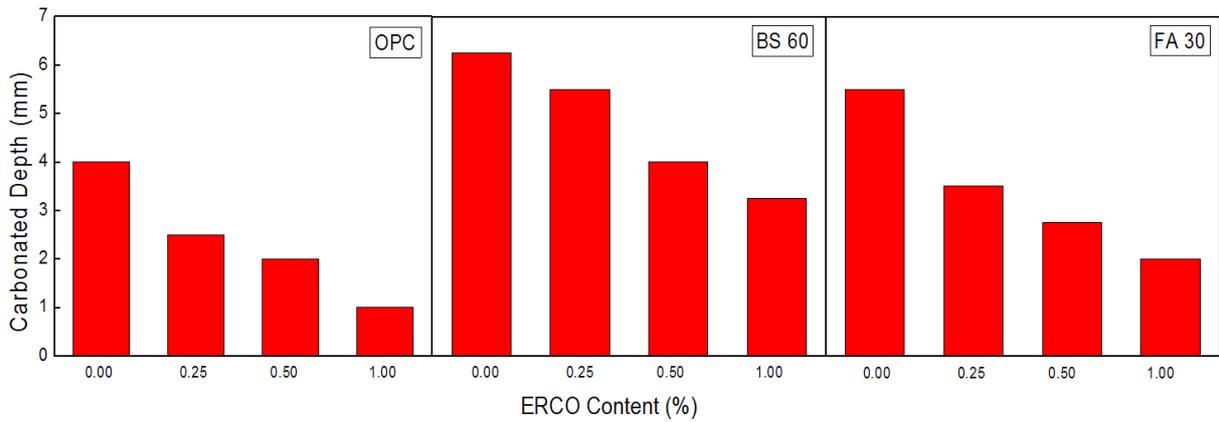


Fig. 8. Carbonation according to ERCO content in 13 weeks

다른 특성으로 재령이 경과함에 따라 전반적으로 OPC보다 BS 및 FA의 경우가 탄산화 깊이가 다소 증가하는 것으로 나타났다. ERCO에 따른 특성으로 ERCO 혼입률이 증가할수록 탄산화 깊이는 비례적으로 감소하는 것으로 나타났는데, 특히 Fig. 8의 13주 측정치를 비교한 그래프에서 Plain 시험체에 비해 ERCO 1.0%를 혼입한 시험체의 경우는 2.5mm ~ 3mm 정도 탄산화 깊이가 감소하는 것으로 나타나 Plain 대비 약 4배의 CO₂ 침투 방지 효과를 확인 할 수 있었다. 이는 ERCO의 주성분인 지방산이 콘크리트의 수화생성물인 수산화칼슘(Ca(OH)₂)에 가수분해 되어 지방산 칼슘 염을 생성하여 콘크리트 경화체 내의 모세관 공극을 충전함에 따라 CO₂ 침투가 저지되어 나타난 결과로 사료된다.(Han CG,2011)

3.2.2 동결융해 저항성

Fig. 9는 결합재 종류 및 ERCO 혼입률 변화에 따른 동결융해 cycle 수에 따른 상대동탄성계수를 나타낸 것이다. 먼저, OPC의 경우는 ERCO를 혼입하지 않은 경우 150 cycle에서 파괴되었으나, ERCO를 혼입한 시험체 모두는 30 cycle에서 파괴 되었다. 이는 ERCO 혼입률이 증가함에 따라 AE 공기량 소실에 의해 동결융해 저항성이 급속히 저하되어 나타난 결과로 사료된다. 또한 BS 및 FA를 치환한 시험체의 경우는 ERCO를 치환하지 않은 경우 150 cycle까지 상대동탄성계수비가 95% 이상을 유지하고 있었으나, ERCO 혼입률이 증가함에 따라 상대동탄성 수비는 감소하였다. 단, ERCO 혼입률 0.5%까지는 150cycle에서도 상대동탄성계수비가 80% 이상을 유지하는 것으로 나타났으나, ERCO 1.0%를 혼입한 시험체는 30~60cycle에서 파괴되는 것을 확인할 수 있었다.

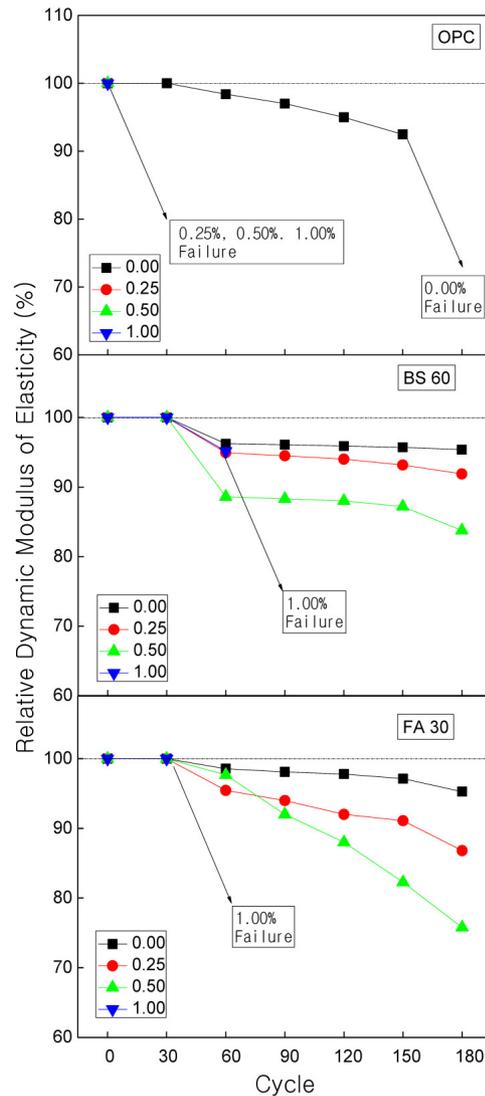


Fig. 9. Resistance to freeze-thaw according to ERCO content

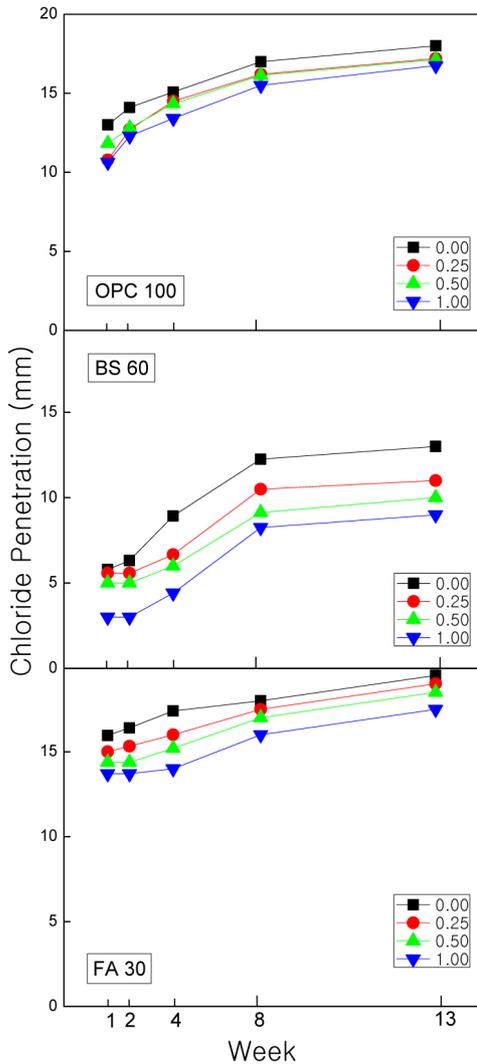


Fig. 10. Resistance to chloride attack according to ERCO content

3.2.3 염화물 침투깊이

Fig. 10은 결합재 종류와 ERCO 혼입률별 재령경과에 따른 염화물 침투 깊이를 측정된 것이다. 먼저, 결합재의 변화에 따른 염화물의 침투깊이는 BS가 가장 낮고 OPC 및 FA는 유사한 경향을 보였다. 이는 고로슬래그의 잠재수경성 반응에 기인한 내부 미세구조의 치밀화에 의한 것으로 사료된다. 한편, ERCO의 혼입률 변화에 따른 침투깊이는 초기재령인 1주부터 결합재 종류와 관계없이 Plain과 비교하여 ERCO의 혼입률이 증가할수록 침투깊이가 확연하게 저하하는 것을 확인 할 수 있었는데, 이는 ERCO 혼입에 따른 세공량의 감소에 기인된 결과로 판단된다.

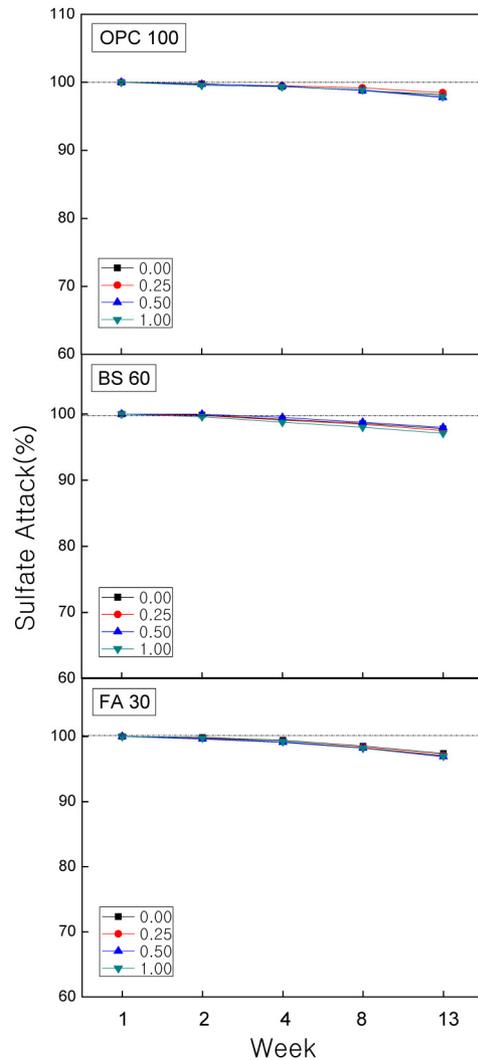


Fig. 11. Resistance to sulfate attack according to ERCO content

3.2.4 황산염 침투 저항성

결합재 종류 및 ERCO 혼입률별 재령경과에 따른 황산염침투 저항성에 대한 실험결과는 Fig. 11과 같다. OPC, BS 및 FA의 결합재 변화에 따른 영향은 크지 않은 것으로 나타났고, ERCO 혼입에 따른 영향도 큰 차이를 보이지 않았다.

3.3 세공구조

Fig. 12는 결합재 종류 및 ERCO치환율별 누적세공분포 분포를 나타낸 것이다. 본 연구범위에서는 각각의 혼화재별 ERCO의 혼입률 0.0%와 1.0%조건에서 누적세공분포를 측정하였다. Fig. 12에서 확인할 수 있듯이 각 시험체의 경우 ERCO 0.0%의 시험체 보다 1.0% 시험체가 확연히 낮은 누적세공분포를 나타내어 ERCO 혼입

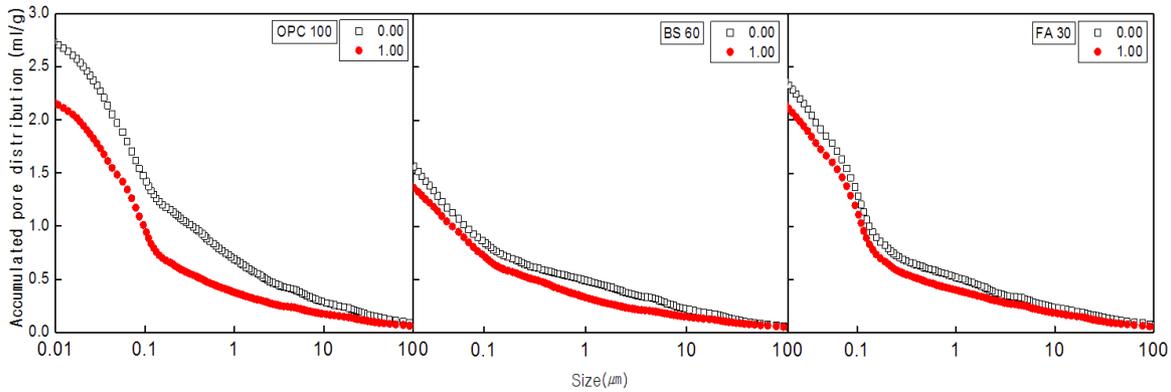


Fig. 12. Resistance to pore distribution according to ERCO content

에 따른 세공량 감소효과를 확인 할 수 있었다. 이는 전술한 바와 같이 ERCO와 콘크리트의 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 비누화 반응을 일으켜 세공의 충전효과에 기인하여 나타난 결과로 사료된다.

결국, 본 연구의 범위에서 ERCO의 혼입은 세공량을 감소시키므로서 내구성 항목중 세공의 영향이 지배적인 탄산화 저항성, 염화물 저항성 등에 효과가 있는 것으로 판단되고, 동결융해 저항성의 경우 공기량 감소에 의해 다소 약영향이 있을 것으로 사료되며, 황산염 저항성의 경우 큰 영향은 없는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 정제폐유지류를 혼입한 혼화재 다량 치환 콘크리트의 내구성에 대하여 실험적으로 고찰하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 폐유지류 혼입에 따른 기초적 특성으로 슬럼프는 폐유지류 혼입율이 증가 할수록 시멘트와 고로슬래그 미분말을 치환한 경우는 저하지만, 플라이애쉬를 치환 하였을 경우는 오히려 증가하는 것을 확인 할 수 있었고, 공기량은 폐유지류를 혼입에 따라 저하하는 경향을 보였는데, 이는 유화처리시 혼입되는 유화제의 소수기가 AE제의 소수기와 흡착작용에 의해 AE 공기가 소실된 것으로 판단된다. 또한, 압축강도의 경우 재령 28일 까지는 정제폐유지류를 혼입한 시험체가 다소 낮은 강도를 나타내었으나, 180일에서는 강도를 회복하여 Plain 시험체와 유사한 강도를 나타내었다.
2. 폐유지류가 축적탄산화 및 내염해성에 미치는 영향으로 폐유지류의 혼입이 증가 할수록 비누화 반응에 의한 모세관 공극의 충전효과에 기인하여 결합재 종류에 관계없이 탄산화 및 염해

저항성이 증가되는 것으로 나타났다.

3. 동결융해 저항성의 경우는 폐유지류 혼입률이 증가할수록 저하하는 것으로 나타났는데, 특히 시멘트의 경우 30cycle이전에 파괴가 나타났으며, 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말 치환의 경우 치환률 0.5% 이상에서 상대동탄성계수비가 급격히 저하하는 것으로 나타났다. 이는 배합상 공기량 저하에 기인된 것으로 이에 대한 대책이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 지원으로 수행되었습니다. 과제번호 : 2012R1A1A101018971

References

- Atis, C. D.,(2003). Accelerated Carbonation and Testing of Concrete with Fly Ash, *Construction and Building Materials* **17**, 147–152.
- Aperador, W., Mejia de Gutierrez, R., Bastidas, D. M. (2009). Steel Corrosion Behaviour in Carbonated Alkali –Activated Slag Concrete, *Corrosion Science* **51**, 2027–2033.
- A, Younsi., Ph, Turcry., A, A. M., S, S.,(2012). Accelerated Carbonation of Concrete with High Content of Mineral Addition : Effect of Interaction Between Hydration and Drying, *Cement and Concrete Research* **43**, 25–33.
- Han, C. G., Han, M. C., Jeon, C. K., Beak, D. H., Lee, D. G., Han, S. Y.,(2011). Characteristic of Autogenous Shrinkage of High Strength Mortar Using Acceleration Agent and

- Emulsified Waste oil. Architectural Institute of Korea. **55**, 71-72 [in Korean]
- Han, C. G., Han, M. C., Jeon, C. K., Woo, D. H., Han, S. Y., Kim, Y. H., (2011). Fundamental Properties of Concrete with the Contents of Durability Improvement Agent. Architectural institute of Korea. **56**, 245-246 [in Korean]
- Han, C. G., (2012). Quality Control of Concrete. Construction Media Co., Ltd, [in Korean]
- Kim S. H., Shin S. T. Seo, C. H.,(2000) . An Experimental Study on the Carbonation Property of Cement Mortar with Fly Ash. Korean Intellectual Property Office, **20(2)**, 475-478. [in Korean]
- Khunthongkeaw, J., Tangtermsirkul, S., Leelawat, T.,(2006) A Study on Carbonation Depth Prediction for Fly Ash Concrete. Construction and Building Materials **20**, 744-753.
- Shi, H. S., Xu, B. W., Zhou, X. C.,(2009). Influence of Mineral Admixtures on Compressive Strength, Gas Permeability and Carbonation of High Performance Concrete. Construction and Building Materials **20**, 1980-1985.
- VERBECK, G. J.,(1958). Carbonation of Hydrated Portland Cement, ASTM, Sp. Tech. Publicn. **205**, 17-36.

폐유지류가 혼화재 다량 치환 콘크리트의 내구성에 미치는 영향

본 연구에서는 폐유지류가 혼화재 다량 치환콘크리트의 내구성에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하고자 한다. 플라이애시 30% 및 고로슬래그 60% 치환한 콘크리트를 대상으로 기초적 물성과, 탄산화저항성, 동결융해저항성, 염해 저항성 및 황산염 침투저항성을 고찰하고 세공구조를 측정하였다. 본 연구에 사용된 폐유지류는 유동성 저하를 방지하기 위하여 유화처리된 폐유지류(ERCO)를 사용하였고, 혼입률은 1.0%까지로 결정하였다. 연구결과에 따르면, 슬럼프 및 공기량은 ERCO 혼입에 따라 감소하는 경향을 보였고, 압축강도는 ERCO 혼입에 따라 28일강도는 다소 저하하나 180일 강도의 경우 ERCO 혼입과 동등이상의 값을 보였다. 또한, ERCO 혼입에 따른 내염해, 탄산화, 황산염 및 동결융해 저항성에 대하여 분석한 결과로는 염화물 침투저항성 및 탄산화 침투 저항성은 ERCO 혼입률 증가에 따라 저항성이 향상되나, 동결융해 저항성은 저하되는 것으로 나타났다.