

폐주물사 미분말을 시멘트 대체재료로 사용한 콘크리트의 특성

Properties of the Concrete using the Waste Foundry Sand Powder by Cement Replacement

우종권*
Woo, Jong-Kwon

반주환**
Ban, Joo-Hwan

류현기***
Ryu, Hyun-Gi

Abstract

Waste foundry sand of industrial waste which is happening by vast quantity according to fast development of industry has much the occurrence amount and processing method is depended on reclamation, and is using by fine aggregate for construction by recycling method among others. In this research Waste foundry sand powder into cement replace fare use possibility availability judge wish to Slump and air content decreased the replacement ratio increases by concrete special quality that do not harden according to experiment result, and unit capacity mass and bleeding increased the replacement ratio increases. Hardening concrete intensity special quality displayed strength improvement to replacement ratio 20%, and tendency that watertightness increases most in replacement ratio 10% in watertight property appear. Considering the strength and watertight properties, the adequate usage of waste foundry sand powder is the 10% of replacement ratio.

키워드: 폐주물사 미분말, 시멘트 대체재료, 강도, 수밀특성

Keywords: Waste Foundry Sand Powder, Cement Replacement, Strength, Watertight property

1. 서론

경제 성장과 더불어 급속한 산업발전이 이루어짐에 따라 산업폐기물이 나날이 증대되어 대기 중의 환경오염 및 폐기물의 무단 방치 및 불법매립 등의 환경오염 문제가 사회적인 심각한 문제점으로 대두되고 있다. 과거의 산업정책은 경제발전 및 이윤추구를 우선시 하여 환경문제는 무시한 채 진행되었지만 요즘은 지구온난화 및 각종 재앙 등으로 인간에게 많은 해를 줄 수 있는 요인 등이 폐기물의 요인으로부터 발생되어 심각한 환경오염의 문제로 대두되고 있는 실정이다

수많은 산업폐기물 중 주물산업에서 발생되어지는 폐주물사는 발생량이 많아 야적 방치하거나 매립되어지고 있어, 침출수의 유출 등으로 수질 및 토양의 오염 등 2차적인 환경오염을 일으키고 있다. 이러한 산업폐기물을 재활용방안으로는 건설산업에서는 시멘트 대체재료의 하나로 산업부산물인 고로슬래그, 플라이애시, 실리카흙 등을 콘크리트용 혼화재료로 이용하고 있고, 일부대체 골재로 재활용하는 방안으로 연구가 진행되어져왔다. 그러나 폐주물사는 입자크기가 No.200(75 μ m)체 미만의 미립자가 다량 포함 되어 있으므로 이를 콘크리트용 혼화재료로서 활용하는 방안에 대한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다.

* 충주대 대학원 석사과정, 정회원

** 충주대 공학석사, 정회원

*** 충주대 건축공학과 교수 공학박사, 정회원

따라서 본 연구에서 산업부산물인 폐주물사의 미립분을 사용하여 시멘트 대체재료로 이용하므로써 콘크리트의 물리, 역학적 특성 및 내구성능 등에 미치는 영향을 분석하여 콘크리트용 혼화재료로써의 활용가능성 여부를 검토하고자 한다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같으며, 먼저 배합사항 중 W/B는 40, 50, 60(%)로 3개 수준으로 한다. 혼화재료로 사용하는 폐주물사 미분말(Waste Foundry Sand Powder:이하 WFSP로 칭함)은 치환율 0%(plain), 10, 20, 30(%)로 4개 수준으로 하고 베이스 콘크리트의 목표 슬럼프는 18 \pm 2cm, 공기량은 4.5 \pm 1.5%로 계획한다.

실험사항으로는 표 1에서와 같이 굳지 않은 콘크리트에서 5개 수준, 경화 콘크리트에서 5개 수준 등을 각각 계획된 재령에 의하여 실시하도록 하며 이에 따른 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같이 적용 실시한다.

표 1. 실험계획

실험요인		수준	
배합사항	W/B(%)	3	40, 50, 60
	WFSP 치환율(%)	4	0(Plain), 10, 20, 30
	목표 슬럼프	1	18±2cm
	목표 공기량	1	4.5±1.5%
실험사항	굳지않은 콘크리트	5	<ul style="list-style-type: none"> • 슬럼프 • 공기량 • 단위용적질량 • 관입저항에 의한 응결시간 측정 • 블리딩 시험
	경화 콘크리트	5	<ul style="list-style-type: none"> • 압축강도(7, 28, 56일 재령) • 인장강도(7, 28일 재령) • 투수시험(28, 56일 재령 - 1, 5, 24시간) • 흡수시험(28, 56일 재령 - 1, 5, 24시간) • 동결융해저항시험(28일재령 - 300Cycle)

표 2. 콘크리트 배합표

W/B (%)	단위 수량 (kg/m³)	S/a (%)	WFSP 치환율 (%)	용적배합 (ℓ/m³)				질량배합 (kg/m³)			
				C	WF SP	S	G	C	WF SP	S	G
40	170	45	0	135	0	293	358	425	0	752	951
			10	121	17	291	356	383	43	748	946
			20	108	33	290	354	340	85	744	942
			30	94	50	288	352	298	128	741	937
50	170	45	0	108	0	305	372	340	0	783	991
			10	97	13	304	371	306	34	780	987
			20	86	27	302	370	272	68	777	983
			30	76	40	301	368	238	102	774	979
60	185	35	0	98	0	235	437	308	0	605	1162
			10	88	12	234	435	278	31	602	1158
			20	78	24	234	434	247	62	600	1154
			30	69	36	233	432	216	93	598	1150

2.2 사용재료

본 실험에서 사용한 재료로 시멘트는 표 3과 같은 국내산 S사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하고, 잔골재는 충북 충주시 양성면 남한강 일원의 강모래, 굵은골재는 최대치수 20mm의 부순 골재를 사용하며 골재의 물리적 성질은 표 4와 같다. WFSP는 충북 충주시 가주동에 위치한 C주물공장에서 발생하는 폐주물사를 분쇄과정을 통하여 미분말 상태로 제조하여 사용토록하며 화학적 성질은 표 5와 같고, 입자크기는 그림 1과 같다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm/g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.14	3200	0.02	220	400	20	30	38

표 4. 골재의 물리적 성질

골재 종류	밀도 (g/cm³)	조립률 (F.M)	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/ℓ)	입형관정 실적율 (%)	0.08mm체 통과량 (%)
잔골재	2.57	2.8	1.77	1.56	61.7	1.14
굵은골재	2.66	7.3	0.81	1.54	58.5	—

표 5. WFSP의 화학적 성질

성분 시료	화학적 성분(%)									
	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	MnO	K₂O	Na₂O	TiO₂	LOI
WFSP	77.4	8.31	5.20	1.53	0.84	0.22	2.63	2.15	0.31	1.41

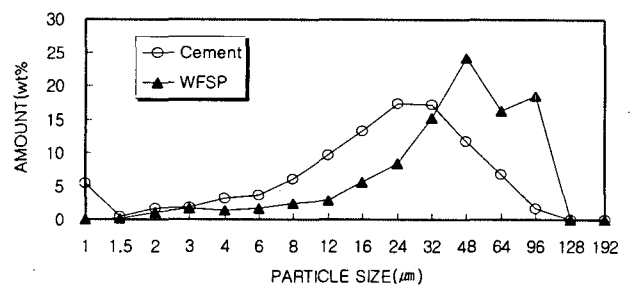


그림 1. WFSP의 입자크기

2.3 실험 방법

본 연구의 실험방법으로는 굳지 않은 콘크리트 시험으로는 KS F 2402(콘크리트의 슬럼프 시험방법), KS F 2421(압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트 공기량 시험방법), KS F 2436(관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험방법), KS F 2414(콘크리트의 블리딩 시험방법)의 각각 KS의 해당 규정에 의거 실시한다.

경화 콘크리트의 실험에서는 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법), KS F 2456(급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항성 시험방법)의 규정에 의거 실시한다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

그림 2는 WFSP 치환율 변화에 따른 콘크리트의 슬럼프를 W/B별로 나타낸 그래프이다.

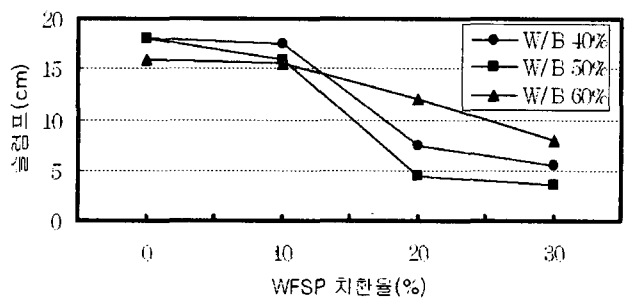


그림 2. WFSP 치환율 변화에 따른 슬럼프

W/B별로 WFSP 치환율이 증가할수록 전반적으로 슬럼프치는 감소하는 경향으로 나타났고, W/B 40, 50, 60(%)에서는 치

환율 10%까지 슬럼프치가 약간 감소하는 경향이나 치환율 20%에서는 W/B 40, 50(%)에서 Plain보다 10cm 이상의 급격한 슬럼프 감소 경향을 나타내었고, W/B 60%에서 WFSP 치환율 10%이후 부터는 약 3.5cm 정도의 슬럼프치 감소경향으로 나타났다. 이와 같은 슬럼프치 저하현상은 WFSP 치환율이 증가할수록 미립분에 의한 유동성의 저하요인으로 분석된다.

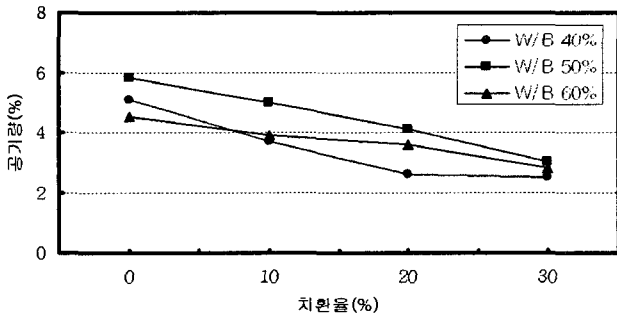


그림 3. WFSP 치환율 변화에 따른 공기량

그림 3은 WFSP 치환율 변화에 따른 공기량을 W/B 별로 나타낸 그래프이다. 공기량은 W/B별 모두 WFSP 치환율이 증가할수록 감소하는 경향으로 나타났으며, WFSP 치환율 10%씩 증가함에 따라 공기량은 약 0.5~0.8%정도 감소하는 경향으로 나타났는데 W/B 60%에서는 다소 완만한 감소경향으로 나타났고 W/B 40%에서 WFSP 치환율 20, 30%, W/B 60%의 치환율 30%에서 3%이하의 공기량을 나타내어 KS의 허용한도 범위를 벗어나고 있다.

이와 같은 현상은 WFSP 잔입자의 첨가량이 증가하면서 콘크리트 내의 모세공극 충전효과에 의해 기인된 결과로 분석되어진다.

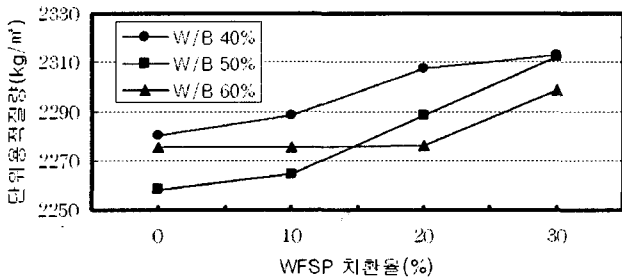


그림 4. WFSP 치환율 변화에 따른 단위용적질량

그림 4는 WFSP 치환율 변화에 따른 단위용적질량을 나타낸 그래프이다. W/B 40, 50%에서는 Plain에 비하여 WFSP 치환율이 증가할수록 단위용적질량이 증가하는 경향으로 나타났고, W/B 60%에서는 WFSP 치환율이 20%까지는 Plain과 거의 같은 단위용적질량을 나타내고 치환율 30%에서는 증가하는 경향으로 나타났다.

그림 5는 WFSP 치환율 변화에 따른 블리딩량을 나타낸 그래프이다. 전반적으로 W/B 및 WFSP 치환율이 증가할수록 블리딩량은 증가하는 경향으로 나타났는데, W/B 40, 50(%)는 유사한 경향으로 나타났는데 Plain에서는 40%에서 다소 많게 나타났고 10% 치환율에서는 거의 동일한 양으로 나타났다. WFSP 치환율이 커질수록 W/B 50%에서 약간 많은 블리딩량을 나타내었다. W/B 60%에서는 W/B 40, 50(%)보다 다소 많은 블리

딩량을 나타내었는데 WFSP 치환율이 증가할수록 블리딩량도 증가하는 경향으로 나타났다.

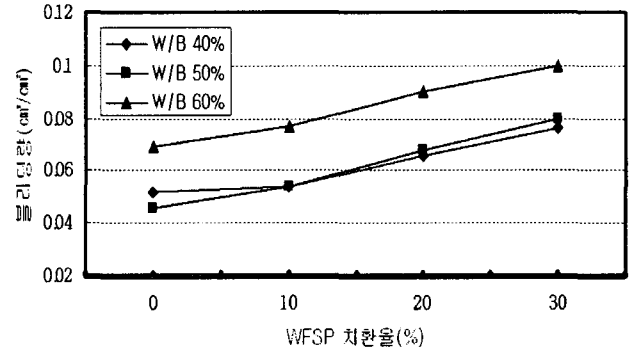


그림 5. WFSP 치환율 변화에 따른 블리딩량

그림 6은 W/B별 경과시간에 따른 관입저항치를 나타낸 그래프이다

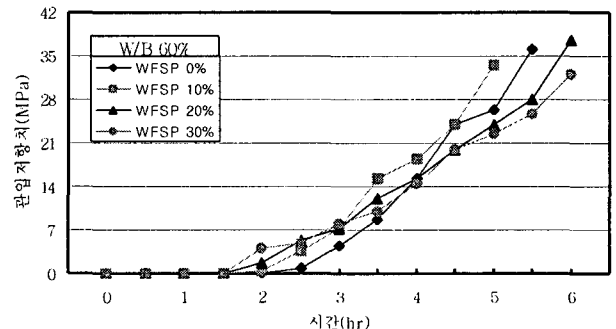
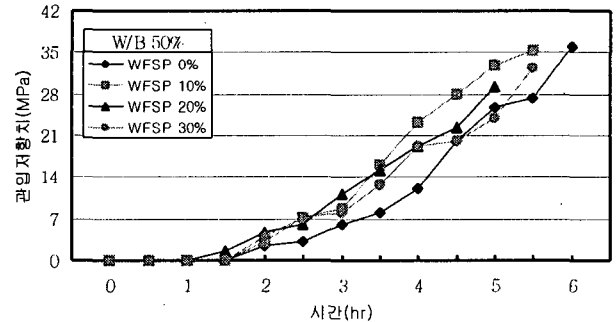
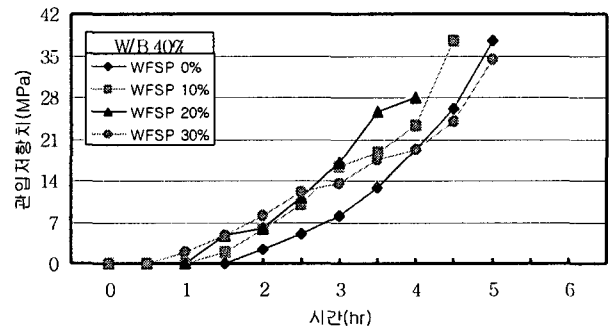


그림 6. W/B별 경과시간에 따른 관입저항

관입저항에 의한 응결시간은 W/B가 낮을수록, WFSP 치환율이 증가할수록 응결시간이 빨라지는 경향을 나타냈는데 W/B 40%의 경우 WFSP 치환율 20%까지 Plain보다 응결시간이 빨리 나타났으며, 치환율 30%에서는 Plain 보다 약간 늦게 나타났으나 그다지 큰 시간 차이를 나타내지는 않고 있다. W/B

50, 60%에서는 치환율 10%에서 가장 빠른 응결 시간을 나타내
관입 저항 종료 값인 28MPa를 Plain 보다 약 30분~1시간 정도
빠른 응결을 나타내고 있었다. 이는 WFSP 치환율 증가에 따른
미립분의 증가현상으로 인하여 시멘트 수화반응에 필요한 단
위수량이 감소함에 따라 응결시간이 빨라진 것으로 분석되어
진다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 7은 WFSP 치환율에 변화에 따른 재령별 압축강도를
나타낸 그래프이다.

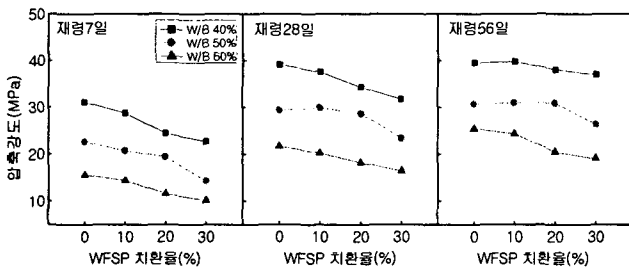


그림 7. WFSP 치환율 변화에 따른 재령별 압축강도

재령 7일에서는 모든 W/B에서 WFSP 치환율이 증가할수록
Plain 보다 강도가 점점 감소하는 경향으로 나타났고, 재령 28
일에서는 W/B 40, 60(%)에서 WFSP 치환율이 증가할수록 강
도가 감소하는 경향으로 나타났고 W/B 50%에서는 Plain보다
치환율 10%에서 다소 높은 강도를 나타내었다. 재령 56일에서
는 W/B 40%에서 치환율 10%, W/B 50%에서 10, 20%의 치환율
에서 Plain 보다 다소 높은 강도 발현을 나타내었다.

이와 같은 강도 발현은 WFSP 치환율이 증가함에 따라 표준
재령에서는 시멘트량이 부족으로 수화반응이 충분히 나타나지
않은 결과로 판단되며 재령이 경과할수록 미수화 시멘트의 잠
재 수경성 반응에 의한 적당량의 WFSP 첨가량의 모세공극 충
전효과에 의한 결과로 사료된다.

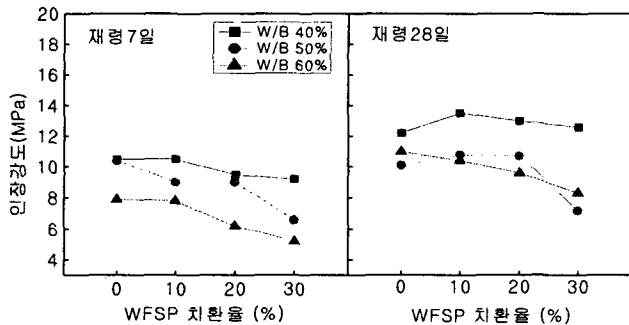


그림 8. WFSP 치환율 변화에 따른 재령별 인장강도

그림 8은 WFSP 치환율 변화에 따른 재령별 인장강도를 나타
낸 그래프이다. 7일재령에서는 W/B 40% 중 WFSP 치환율 10%
에서만 Plain보다 높았으며, 그 외 W/B 및 치환율에서는 Plain보
다 저하는 경향을 나타냈으며, 28일 재령에서는 W/B 40%에서
는 모든 WFSP 치환율에서 Plain 보다 증가하였고, W/B 50%에
서는 치환율 20%까지 Plain보다 다소 높게 나타났다.

그림 9는 재령 28일과 56일에서 시간 경과에 따른 흡수량을
W/B별로 나타낸 그래프이다. 재령 28일에서는 W/B가 증가할

수록 흡수량이 증가하는 경향으로 나타났고, 시간이 경과함에
따라 흡수량은 감소하는 경향을 나타내었으며, WFSP 치환율
10%일 때 Plain보다 흡수량이 약간 감소하는 경향을 나타내었
다. 재령 56일에서는 28일과 마찬가지로 W/B가 증가할수록 흡
수량은 증가하는 경향으로 나타났고, 시간이 경과할수록 흡수
량은 감소하였으나 재령 28일에 비해 흡수량 다소 감소하는 경
향으로 나타내었고 WFSP 치환율 10%일 때 Plain보다 적은 흡
수량을 나타내었다.

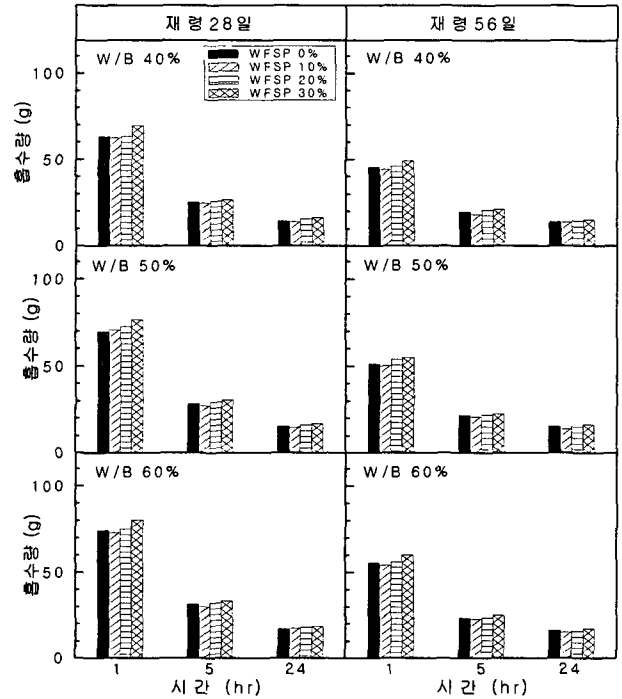


그림 9. 시간 경과에 따른 흡수량

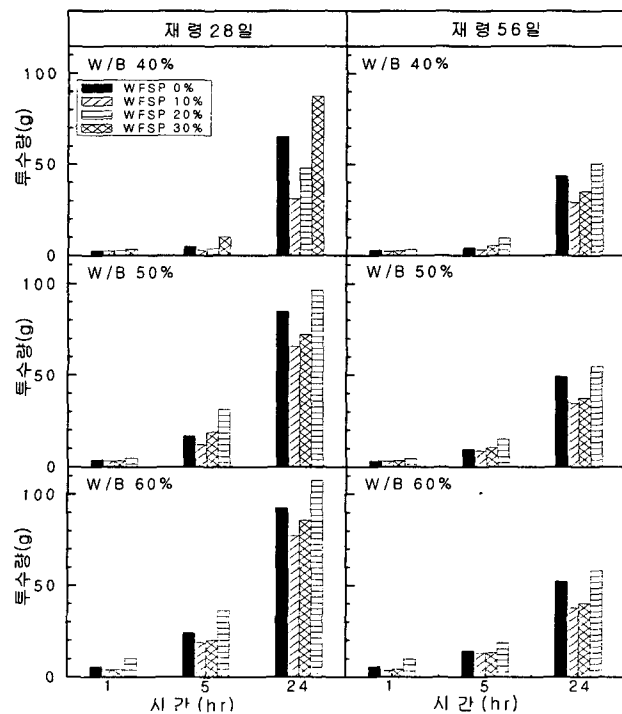


그림 10. 시간 경과에 따른 투수량

그림 10은 재령 28일과 56일에서 시간 경과에 따른 투수량을 나타낸 그래프이다. 재령 28일에서는 W/B가 증가할수록 투수량이 증가되는 경향을 나타내었고, 시간이 경과함에 따라 WFSP 치환율 10, 20(%)에서는 Plain 보다 투수량이 감소하는 경향을 나타내었다. 재령 56일에서는 재령 28일과 마찬가지로 W/B가 증가함에 따라 미세하게 투수량이 증가하는 경향을 나타냈으며 WFSP 치환율 10, 20(%)에서 Plain보다 투수량이 감소하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 현상은 WFSP 치환율이 10~20%까지는 적정량의 미립분 증가로 인한 모세공극 충전효과에 의한 결과로 판단되어진다.

그림 11은 동결융해 사이클에 따른 내구성지수를 나타낸 그래프이다. W/B가 커질수록 Plain보다 WFSP 치환율 10%에서 내구성 지수가 높게 나타났다. W/B 40%의 내구성지수는 치환율 0(Plain), 10%만이 동결융해사이클이 종료 될 때까지 내구성지수 80%이상 나타났고, 치환율 20, 30(%)에서는 내구성지수 60% 미만으로 나타났다. W/B 50%에서 치환율 30%를 제외하고는 모든 치환율에서 60%를 만족하는 것으로 나타났으며 치환율 0%와 10%에서는 유사한 경향을 나타냈다. W/B 60%에서는 W/B 50%와 마찬가지로 치환율 30%를 제외한 모든 치환율에서 내구성 지수 60%를 만족하는 것으로 나타났다.

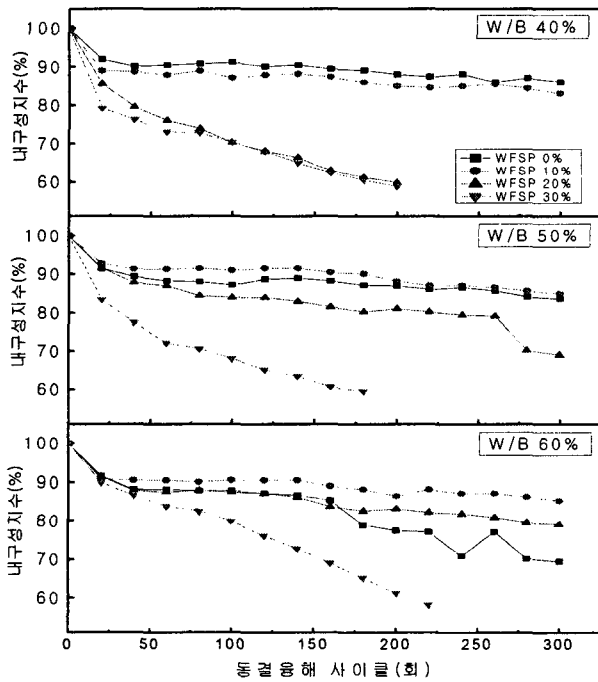


그림 11. 동결융해사이클에 따른 내구성지수

4. 결론

본 연구는 폐주물사 미분말을 시멘트 대체재료로 활용하기 위한 실험연구로서 폐주물사 미분말 치환율 변화에 따른 콘크리트의 공학적 특성 분석을 위한 내구성을 알아보기 위한 실험 연구 결과는 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 굳지 않은 콘크리트의 특성으로 슬럼프치는 전반적으로 폐주물사 미분말이 치환율이 증가할수록 모든 W/B에서 슬럼프치가 저하하는 것으로 나타났고, 공기량은 WFSP 치환율이 10%증가함에 따라 약 0.5~0.8씩 감소하는 경향으로 나타났으며, 단위용적질량은 치환율이 증가함에 따라 증가하는 경향으로 나타났다.
- 2) 관입저항에 의한 응결시간은 낮은 W/B에서 치환율이 증가함에 따라 응결시간이 약 30분에서 1시간 정도의 응결시간이 빨라졌으며, 블리딩량은 W/B가 높아질수록, 치환율이 증가할수록 블리딩량이 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 경화 콘크리트의 강도 특성으로는 표준재령 28일 압축강도는 W/B 50%에서 WFSP치환율 10, 20(%)에서, 56일재령에서는 W/B 40%의 WFSP 치환율 10%, W/B 50% WFSP 치환율 10, 20(%)에서 Plain 보다 다소 높은 강도 발현을 나타내었다. 인장강도는 28일재령에서 W/B 40%는 모든 WFSP 치환율에서, W/B 50%는 10, 20(%)에서 Plain보다 높게 나타났다.
- 4) 경화 콘크리트의 수밀특성은 모든 W/B에서 치환율 10%에서 흡수량 및 투수량이 감소 되어 수밀성이 Plain보다 증대되는 경향으로 나타났다.
- 5) 내구성 분석으로 동결융해 저항시험에 의한 내구성지수는 W/B 40%에서는 치환율 20, 30(%), W/B 50, 60(%)에서는 치환율 30%에서 내구성 60%미만으로 저하하였다. 이는 WFSP 치환율 증가에 따른 공극의 감소에 의한 내구성 저하로 판단되며 소요 공기량 확보를 위한 AE제의 사용이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 지역혁신 인력 양성사업 과제인 “폐자원을 활용한 구조용 순환콘크리트의 콘크리트의 개발 및 실용화” 수행과제의 일부임을 밝혀드리며, 산업자원부와 한국산업기술재단 관계자 여러분께 깊은 감사드립니다.

참고 문헌

1. 한국콘크리트학회, “최신 콘크리트공학”, 1992. 10. pp.453-476
2. 한국콘크리트학회, “콘크리트 혼합재료”, 1997. 3
3. 한천구, “콘크리트의 특성과 배합설계”, 1998. 7
4. 최현왕, “폐주물사를 사용한 콘크리트의 강도특성에 관한 연구”, 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집 “, 1999. 11, pp237-240
5. 정일영, 한천구, 정상진, “건축재료실험”, 형설출판사, 1995
6. 박계선 외3명, “폐주물사를 혼합한 콘크리트의 적정배합설계”, 한국 콘크리트 학회지, 제9권 6호, 1997. 12, pp195-206
7. 한국자원연구소, “폐기물 자원화·재활용 기술개발 연구개발계획서”, 2000. 2
8. 고준길, “폐주물사를 대체 잔골재로 사용한 모르타르의 실험적 연구”, 2004. 2
9. Tarun R. Naik, Shiw S. sin호, Mathew P. Tharaniyil, and Robert B. Wendorf, “Application of Foundry By-Product Materials in Manufacture of concrete and Masonry Product”. ACI Materials Journal. January-February 1996. pp. 44-51
10. 이철호, “폐기물 재활용현황 및 관련제도”, 공주대학교 자원재활용 신소재연구센터, 2001