

폐활성탄을 혼입한 콘크리트의 물리·역학적 성질

Physical and Mechanical Properties of Concrete Using Waste Activated Carbon

강현수* · 성찬용**†

Kang, Hyun Soo* · Sung, Chan Yong**†

ABSTRACT

This study was performed to evaluate the physical and mechanical properties of concrete using waste activated carbon. Materials used were ordinary portland cement, crushed coarse aggregate, natural fine aggregate, waste activated carbon, and superplasticizer. The substitution ratios of waste activated carbon were 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9 and 10%. The unit weight was decreased and water absorption ratio was increased with increasing the waste activated carbon content, respectively. When the substitution ratio of waste activated carbon was 3%, compressive strength, flexural strength and dynamic modulus of elasticity were more higher than that of the ordinary portland cement (OPC), and it was decreased with increasing the waste activated carbon content, respectively. The most effective contents of waste activated carbon was 2% in performance and 4% in practical use Accordingly, waste activated carbon can be used for concrete material.

Keywords: Waste activated carbon; unit weight; absorption ratio; compressive strength; flexural strength; dynamic modulus of elasticity

1. 서 론

보통 포틀랜드 시멘트가 구조재료로 사용되면서 경제적, 구조적 특성으로 건설부문의 거의 모든 곳에 사용되고 있으나, 환경문제라는 시대적 요구로 인해 새로운 대체재료의 개발 필요성이 요구되고 있으며, 이러한 관점에서 최근 대두되고 있는 자원의 순환적 재활용과 환경친화적인 재료의 개발 등을 통해 지구 환경보전에 기여하는 기술의 개발이 진행되고 있다 (Sung et al., 1998). 또한 환경문제가 사회적으로 크게 대두되면서 환경보존에 대한 인식이 확산됨에 따라 오랫동안 토목 및 건축공사의 가장 대표적인 재료로 인식되어 온 콘크리트에 대해 환경친화적인 재료로 전환시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다 (Sung et al., 2002).

최근 국내에서는 건설폐기물의 적정처리 및 재활용의 필요성에 대한 사회적 인식을 바탕으로 1993년에 “자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률”을 입법하고, 1994년에 한국자원재생공사법이 시행됨으로서 재활용산업을 육성하여 폐기물 자원화를 촉진하고 있으며, 건설폐기물 재활용 촉진을 위한 정책 및 법률 제정이 이루어지고 있다 (Choi et al., 2000).

한편, 산업부산물과 폐기물인 플라이 애시, 페타이어, 폐콘크리트 등이 콘크리트 재료로 일부 사용되고 있으며, 활성탄은 유해물질의 흡착 및 정화 성능 증진 등의 목적으로 연구가 진행되고 있다 (Jung et al., 1997; Sung, 1997).

또한, 일반산업체에서 수질정화 후 발생하는 산업폐기물인 폐활성탄은 많은 양이 폐기되고 있는 실정이며, 시멘트의 일부 대체재로 활용성이 기대되고 있다. 한편, 활성탄의 역사는 기원전 10세기에 식물을 탄화시킨 숯을 사용하여 약용 또는 방부제로만 사용하였으나, 16세기에는 숯의 이용이 여러 용도로 다변화 되었으며, 18세기에는 숯을 사용한 탈색이나 기체 및 액체흡착현상이 연구되어 제당공업에 사용되었고, 19세기 후반부터는 숯의 흡착능력에 관한 체계적인 연구가 진행되어 왔다 (Hassler, 1974). 근래에는 흡착능력이 뛰어난 활성탄의 수요

* 충남대학교 대학원

** 충남대학교 농업생명과학대학

† Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5798

Fax: +82-42-821-8877

E-mail address: cysung@cnu.ac.kr

2008년 11월 10일 투고

2008년 12월 1일 심사완료

2008년 12월 1일 게재확정

증가로 인해 목재이외에도 야자수 껍질, 쌀겨, 석탄 등의 원료를 사용한 활성탄이 공업적으로 생산되어 화학공업의 급속한 발전과 함께 분리공정, 정제, 촉매 또는 용매회수로의 이용, 더 나아가 지구환경오염 문제와 관련한 대기오염, 수질오염, 악취 등의 공해방지, 환경보존, 상하수도 처리 등 폭넓은 분야에 걸쳐 없어서는 안될 중요한 위치를 차지하고 있다 (Hassler, 1974).

이러한 이유로 사용 후 남은 다량의 폐활성탄은 대통령령으로 정한 지정폐기물로서 2006년 기준 19,077여톤이 발생하며, 이중 10,177여톤은 재활용이 가능하나 8,900여톤은 소각 또는 매립되고 있으며, 그 양은 매년 증가하고 있어 폐활성탄의 활용처가 필요한 실정이다 (Woo, 2006).

따라서, 본 연구는 보편적으로 콘크리트 제조에 쓰이는 시멘트, 쇄석, 천연 잔골재에 폐기물인 폐활성탄을 혼화제로 사용한 콘크리트의 단위중량, 흡수율, 압축강도, 휨강도, 동탄성계수 등의 물리·역학적 성질을 구명하여, 실용적인 콘크리트의 개발 및 제조에 폐활성탄을 사용하기 위한 기초자료를 수립하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 시멘트

시멘트는 KS F 5201에 규정된 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 물리적 성질과 화학성분은 Table 1, 2와 같다.

Table 1 Physical properties of ordinary portland cement

Specific gravity (20°C)	Specific surface area (cm ² /g)	Setting time (h-min)		Compressive strength (MPa)			Unit weight (kg/m ³)
		Initial	Final	3days	7days	28days	
3.15	3,240	5-7	7-20	19	21	32	1,329

Table 2 Chemical composition of ordinary portland cement (Unit: wt. %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

Table 3 Physical properties of aggregates

Classification		Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio (%)	F.M	Unit weight (kg/m ³)
Course aggregate	Crushed stone	5 - 20	2.62	2.62	6.02	1,449
Fine aggregate	Natural sand	0.6 - 5	2.61	2.34	2.32	1,476

Table 4 Physical properties and chemical composition of waste activated carbon

Physical properties				Chemical composition (%)		
Specific gravity (20°C)	Size (mm)	Unit weight (kg/m ³)	Color	CaCO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃
1.39	< 0.6	0.544	Black	93.25	6.41	0.34

Table 5 General properties of superplasticizer

Specific gravity (20°C)	pH	Color	Freezing point (°C)	Principal ingredient	Unit weight (kg/m ³)
1.20	9±1	Dark brown liquid	-2	Naphthalene sulphonate	1,190

나. 골재

잔골재는 금강유역에서 채취한 천연모래를 사용하였고, 굵은 골재는 충북 인근 석산에서 생산되는 최대입경 20 mm인 쇄석을 사용하였으며, 이들의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

다. 폐활성탄

시멘트의 대체용으로 사용한 폐활성탄은 수질정화용으로 사용된 충남 부여군 H사에서 수집된 것을 사용하였으며, 그 물리적 성질 및 화학성분은 Table 4와 같다.

라. 고성능감수제

콘크리트의 강도 증진과 유동성 확보를 위하여 음이온 계면활성제인 나프탈렌 설폰산염을 주성분으로 한 고성능감수제를 사용하였으며, 이의 일반적 성질은 Table 5와 같다.

2 시험체 제작

가. 콘크리트 배합

콘크리트 배합은 강도를 고려하여 폐활성탄의 첨가량에 역점을 두었으며, 실용화 할 수 있는 강도를 발휘하는 배합비로 하였다. 이와 같은 방법에 의하여 재령 28일 목표압축강도 21 MPa 이상을 위하여 시멘트, 폐활성탄, 잔골재, 굵은골재의 배합비를 결정하였고, 폐활성탄의 혼입량은 시멘트량의 각각 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%의 11종류, 슬럼프는 15±2 cm, 공기량은 4.5±1.5%, 고성능감수제는 결합재 중량의 0.5%를 첨가하였으며, 이의 배합설계는 Table 6과 같다.

나. 시험체 제작 및 양생

시험체 제작은 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 강제식 믹서를 사용하여 잔골재와 굵은골재를 혼합한 다음 결합재를 투입하여 건비빔을 30초간 실시한 후 물을

Table 6 Mix design of concrete using waste activated carbon

Mix type	Water (kg/m ³)	Binder** (kg/m ³)		Aggregate (kg/m ³)		S/a (%)	W/B (%)	SP**** (kg/m ³)
		Cement	WACP***	Fine	Corase			
CW*0	183	365	0.00	824	1,011	45	50	1.83
CW1	182	362	1.61	825	1,012	45	50	1.82
CW2	181	358	3.22	826	1,014	45	50	1.81
CW3	180	354	4.83	827	1,015	45	50	1.80
CW4	179	351	6.45	828	1,016	45	50	1.79
CW5	178	347	8.06	830	1,018	45	50	1.78
CW6	177	343	9.67	831	1,019	45	50	1.77
CW7	176	340	11.28	832	1,020	45	50	1.76
CW8	175	336	12.89	833	1,022	45	50	1.75
CW9	174	333	14.51	834	1,023	45	50	1.74
CW10	172	329	16.12	836	1,025	45	50	1.72

*CW : concrete using waste activated carbon content 0~10%

**Binder : cement + waste activated carbon

***WACP : waste activated carbon powder

****SP : superplasticizer

1차 투입하여 1분간 혼합하고, 물과 고성능감수제를 2차 투입하여 90 rpm 으로 혼합하였으며, 몰드에 타설된 시험체는 1일동안 항온항습기 (20±2℃, 상대습도 90%)에서 초기 양생을 실시한 후 탈형하여 소정의 재령까지 20±2℃로 수중양생을 하였다.

3. 시험방법

시험방법은 KS와 BS에 규정된 방법에 준하여 실시하였으며, 3회 반복 시험한 것의 평균값을 실험 결과치로 하였다.

가. 단위중량시험

단위중량시험은 KS F 2505 (골재의 단위용적중량 시험방법)에 따라 Φ100×200 mm인 시험체를 재령 28일에 표면건조포화상태의 중량과 체적을 측정하여, 다음 식으로 산출하였다.

$$UW = \frac{W}{V} \quad (1)$$

여기서, UW = 단위중량 (t/m³)

W = 표면건조포화상태의 중량 (kg)

V = 시험체 체적 (m³)

나. 흡수율시험

농업용 콘크리트 구조물은 대부분 옥외에 노출되어 있어 동결융해가 반복되는데, 흡수율은 동결융해 피해에 밀접한 관련

이 있다.

흡수율시험은 KS F 4004 (콘크리트 벽돌 시험방법)에 준하여 Φ100×200 mm인 시험체를 재령 28일에 실시하였으며, 수중양생한 시험체의 표면건조포화상태의 중량과 105±5℃로 1일 동안 건조시킨 후 절대건조상태의 중량을 측정하여, 다음 식으로 흡수율을 구하였다.

$$AR = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (2)$$

여기서, AR = 흡수율 (%)

A = 절대건조상태의 시험체 중량 (g)

B = 수중양생된 표면건조포화상태의 시험체 중량 (g)

다. 강도시험

압축강도시험은 Φ100×200 mm의 시험체를 제작하여 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법), 휨강도시험은 60×60×240 mm의 시험체를 제작하여 KS F 2407 (콘크리트의 휨강도 시험방법)에 준하여 재령 7일과 재령 28일에 측정하였다.

라. 동탄성계수시험

동탄성계수시험은 Φ100×200 mm인 시험체를 재령28일에 ERUDIT MIKI (resonant frequency test system)측정기를 사용하여 BS 1881 (콘크리트의 동탄성계수 측정방법)에 준하여 측정하였으며, 다음 식으로 산출하였다.

$$DM = DWn^2 \quad (3)$$

여기서, DM : 동탄성계수 (MPa)

W : 시험체 중량 (kg)

n : 측정치 (1/s)

D : 5,194 × 10⁻⁵L/d² (s²/mm²)

L : 시험체 길이 (mm)

d : 시험체 직경 (mm)

III. 결과 및 고찰

폐활성탄을 혼입한 각 배합에 따른 단위중량, 흡수율, 압축강도, 휨강도 및 동탄성계수의 시험결과를 Table 7과 같다.

1. 단위중량

폐활성탄을 혼입한 각 배합에 따른 단위중량 시험결과를 나

Table 7 Test results of concrete using waste activated carbon

Mix type	Unit weight (t/m ³)	Absorption ratio (%)	Compressive strength(MPa)		Flexural strength(MPa)		Dynamic modulus of elasticity (×10 ² MPa)
			7days	28days	7days	28days	
CW0	2.392	2.46	24.2	30.1	6.90	7.63	240
CW1	2.389	2.89	25.5	30.7	7.15	8.17	280
CW2	2.382	2.90	27.2	33.0	7.39	8.49	283
CW3	2.378	3.06	26.2	30.2	6.96	7.86	235
CW4	2.372	3.22	24.1	29.9	6.89	7.83	228
CW5	2.371	3.33	23.9	27.5	6.83	7.79	205
CW6	2.368	3.36	23.6	26.7	6.81	7.57	195
CW7	2.365	3.48	23.4	25.9	6.80	7.56	185
CW8	2.364	3.57	22.5	25.6	6.79	7.54	168
CW9	2.363	3.57	21.5	25.1	6.63	7.33	164
CW10	2.362	3.72	21.5	24.9	6.61	6.99	157

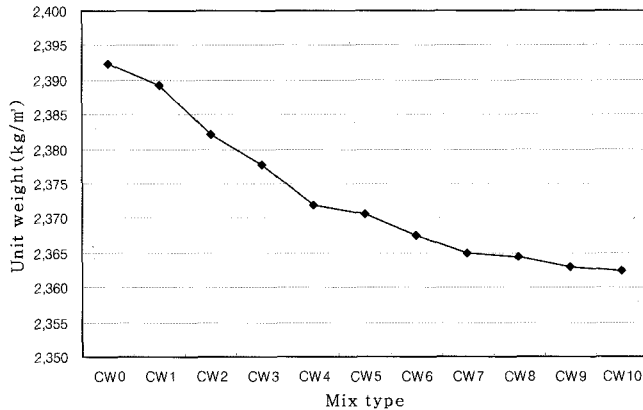


Fig. 1 Mix type versus unit weight of concrete using waste activated carbon

타내면 Table 7과 같고, 도시하면 Fig. 1과 같다.

Table 7과 Fig. 1에서 보는 바와 같이 폐활성탄을 혼입한 콘크리트의 각 배합에 따른 단위중량은 2,362~2,389 kg/m³의 범위로서, 보통 시멘트 콘크리트의 단위중량 2,392 kg/m³의 98~99%로 약 1~2% 정도 감소되었는데, 이와 같은 단위중량 감소의 주요원인은 폐활성탄의 입자가 개기공 구조에 의해 다공질을 이루고 있고, 폐활성탄의 사용량이 증가할수록 단위중량이 감소하는 경향을 보였다.

2. 흡수율

흡수율이 클수록 강도의 저하를 초래하게 되며, 겉보기 비중이 작아질수록, 빈배합일수록, 물-시멘트비가 클수록 큰 것으로 알려져 있다 (KCI, 2005). 폐활성탄을 혼입한 콘크리트의 흡수율 시험결과는 Table 7과 같고, 이를 도시하면 Fig. 2와

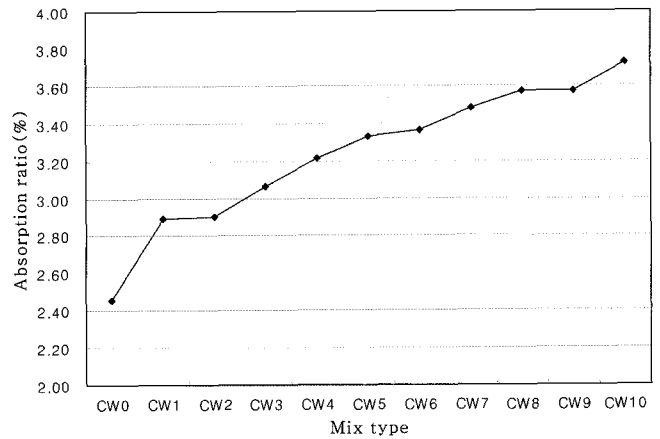


Fig. 2 Mix type versus absorption ratio of concrete using waste activated carbon

같으며, 폐활성탄의 혼입량이 증가함에 따라 흡수율은 증가하는 경향을 보였다.

각 배합에 따른 흡수율은 2.89~3.72%의 범위로서, 보통 시멘트 콘크리트의 흡수율 2.46%의 1.17-1.51배 정도 증가되었는데, 이와 같이 흡수율 증가의 주요원인은 폐활성탄이 개기공 구조로서 입자간 조직사이에 다공질의 미세공극을 가지고 있는데, 이로 인하여폐활성탄의 혼입량이 증가할수록 흡수율이 증가한 것으로 판단된다 (Choi et al., 2000). 또한, 다공질 미세공극의 구조를 가진 콘크리트는 일반적으로 주변 수분을 흡수하여 미세공극 속에 보관하였다. 주변이 건조할 때 수분을 방출하는 성질을 지니므로 건축용 자재로 사용하였을 경우 실내습도유지에 도움을 줄 것으로 생각된다.

3. 압축강도

폐활성탄을 혼입한 콘크리트의 압축강도를 비교하면 Table 7 및 Fig. 3에서 보는 바와 같이, 폐활성탄을 혼입한 콘크리트의 압축강도는 폐활성탄의 혼입율에 따라 재령 7일에서는 21.5~27.2 MPa, 재령 28일에서는 24.9~33.0 MPa의 범위를 나타내었으며, 폐활성탄의 혼입율이 3%까지는 강도의 증가를 보이다가, 그 이후 점차 감소하는 경향을 보였다. 이는 폐활성탄이 콘크리트내의 공극을 치밀하게 충전하여 강도가 증가하였으며, 적정량 이상이 혼입되었을 때는 결합력이 없어 강도가 저하되었다고 생각된다 (Shin, 1994).

또한, 폐활성탄의 혼입율이 4%에서는 보통 시멘트 콘크리트의 압축강도와 유사한 결과를 나타내었으며, 폐활성탄을 5%이상 혼입한 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트보다 강도가 저하하는 현상을 나타내었는데, 이는 결합력이 작은 폐활성탄의 혼입량이 적정량 이상 사용하였기 때문이라 판단된다. 한편, 각

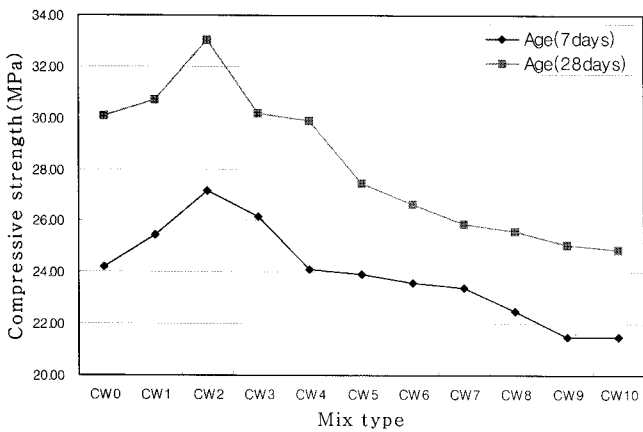


Fig. 3 Mix type versus compressive strength of concrete using waste activated carbon

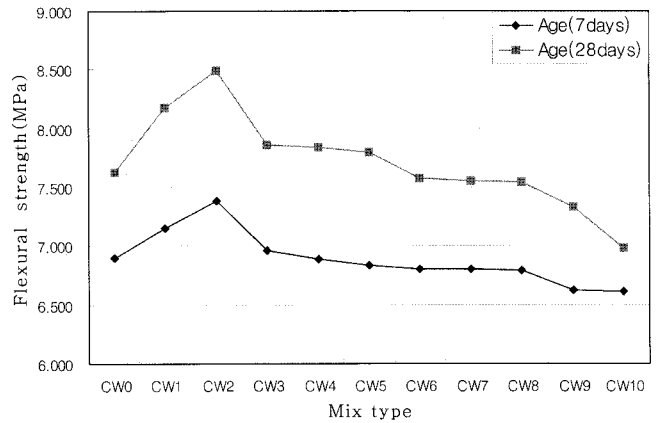


Fig. 4 Mix type versus flexural strength of concrete using waste activated carbon

배합별 재령 7일과 재령 28일 강도를 비교하면 재령 7일에서의 강도차이가 재령 28일에서의 강도차이보다 작게 나타났는데, 이는 폐활성탄의 주성분이 콘크리트의 초기강도 발현의 효과가 있는 탄산칼슘 (CaCO₃)으로 대부분 이루어져 있기 때문이라 판단된다. 따라서, 콘크리트 성능면에서는 폐활성탄 혼입량이 2%가 적정하며, 실용성면에서는 4%가 적절할 것으로 판단된다.

4. 휨강도

폐활성탄을 혼입한 콘크리트의 시험결과는 Table 7 및 Fig. 4와 같다. Table 7 및 Fig. 4에서 보는 바와 같이 폐활성탄을 혼입한 콘크리트의 휨강도는 재령7일에서는 6.61~7.39 MPa, 재령28일에서는 6.99~8.49 MPa의 범위로서, 휨강도 또한 압축강도와 같이 폐활성탄의 시멘트 대체율이 3%까지는 강도가 증가한 후 점차 감소하는 경향을 보였다. 이는 폐활성탄의 시멘트 대체율이 3%까지는 폐활성탄을 혼입한 콘크리트의 조직이 치밀하게 형성 되어 휨강도가 증가된 것으로 판단되며, 적정량이상 혼입되었을 때는 결합력이 없어 강도가 저하되었다고 생각된다. 또한, 폐활성탄의 시멘트 대체율이 4%에서 보통 시멘트 콘크리트 (CW0)와 유사한 결과가 나타났는데, 이는 골재와 시멘트풀의 혼입량이 적정하여 소정의 강도를 발현하였다고 생각된다. 한편, 폐활성탄의 시멘트 대체율이 5%이상 혼입한 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트보다 강도가 저하하는 현상을 나타내었는데, 이는 콘크리트내 골재의 부착에 큰 영향을 주는 시멘트풀이 결합력이 없는 폐활성탄의 혼입량이 적정량을 초과하여 강도저하를 초래하였다고 생각된다. 따라서, 성능면에서는 폐활성탄 사용량이 2%가 적정하며, 실용성면에서는 4%가 적절할 것으로 판단된다.

5. 동탄성계수

동탄성계수시험은 하중을 전혀 가하지 않고 전파를 시험체의 상대면에 방사하여 측정된 주파수로 동탄성계수를 구하는 비파괴시험의 일종으로, 동결융해저항성을 나타내는 내구성지수의 계산과 산, 알칼리 등의 화학약품에 의한 저항성, 화재에 의한 콘크리트의 열화상황등 콘크리트 성능시험에 사용되며, 일반적으로 탄성계수가 작으면 재료의 변형량이 크고, 탄성계수가 크면 대체적으로 강도가 크다는 것을 의미한다 (Mark, 1985; Sung, 1997).

폐활성탄의 혼입량에 따른 동탄성계수 시험결과는 Table 7 및 Fig. 5와 같다.

Table 7 및 Fig. 5에서 보는 바와 같이 폐활성탄을 혼입한 콘크리트의 동탄성계수는 $157 \times 10^2 \sim 283 \times 10^2$ MPa의 범위로 보통 시멘트 콘크리트의 동탄성계수 240×10^2 MPa에 비하여 폐활성탄의 시멘트 대체율이 3%까지는 증가하였으나 그 이후

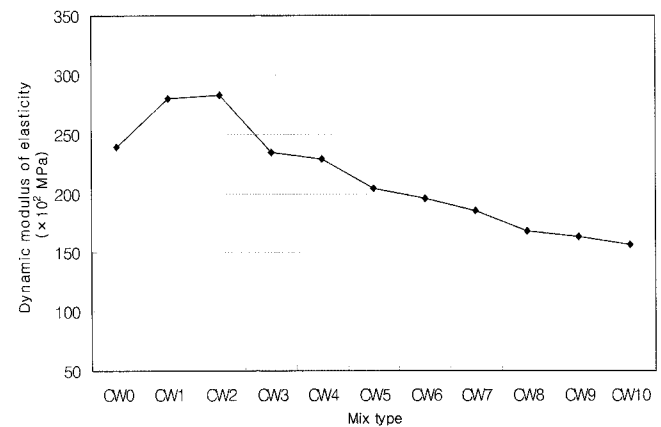


Fig. 5 Mix type versus dynamic modulus of concrete using waste activated carbon

점차 감소하는 경향을 보였다.

탄성계수는 압축강도와 밀접한 관계가 있고, 콘크리트를 구성하고 있는 골재와 시멘트 페이스트의 탄성계수에 의해 좌우되며, 골재의 탄성계수는 일정하게 유지되지만 물-시멘트비에 따라 시멘트 페이스트의 공극률이 변화하여 시멘트 페이스트의 탄성계수도 달라지며, 이에 따라 콘크리트의 강도도 영향을 받는다 (KCI, 2005). 한편, 동탄성계수는 압축강도의 경향과 유사하게 나타났으며, 폐활성탄을 혼입한 콘크리트가 구조용 재료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 토목구조물에 경제적인 콘크리트의 이용을 위한 자료를 제공하기 위하여 보통 포틀랜드 시멘트, 천연잔골재, 쇄석, 폐활성탄을 사용한 콘크리트의 단위중량, 흡수율, 압축강도, 휨강도, 동탄성계수 시험등을 실시하였으며, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 단위중량은 2,362~2,392 kg/m³의 범위로 나타났으며, 폐활성탄의 혼입량이 증가할수록 단위중량은 감소하는 경향을 나타내었다.

2) 흡수율은 2.46~3.72%의 범위로 나타났으며, 폐활성탄의 혼입량이 증가할수록 흡수율은 증가하는 경향을 나타내었다.

3) 압축강도는 재령 7일에서는 21.5~27.2 MPa, 재령 28일에서는 24.9~33.0 MPa의 범위를 나타내었으며, 폐활성탄의 혼입량이 3%까지는 증가하였으나 그 이후로는 점차 감소하였고, 4% 혼입시까지는 폐활성탄을 치환하지 않은 콘크리트 (CW0)와 비슷한 강도를 나타내었다.

4) 휨강도는 재령 7일에서는 6.61~7.39 MPa, 재령 28일에서는 6.99~8.49 MPa의 범위를 나타내었으며, 폐활성탄의 혼입량이 3%까지는 증가하였으나 그 이후로는 점차 감소하였고, 4% 혼입시까지는 폐활성탄을 치환하지 않은 콘크리트 (CW0)와 유사한 강도를 나타내었다.

5) 동탄성계수는 157×10²~283×10² MPa의 범위로 나타났으며, 3% 혼입시까지는 증가하였으나 그 이후로는 점차 감소하였고, 4% 혼입시까지는 폐활성탄을 치환하지 않은 콘크리트 (CW0)와 유사한 동탄성계수를 나타내었다.

6) 폐활성탄의 혼입량은 본 연구의 물리·역학적 결과로 볼 때, 성능면에서는 2%가 가장 우수하였으며, 실용성면에서는 4%가 적절할 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. Choi, H. Y., H. J. Hwang, M. H. Kim, and M. H. Kim, 2000. A study on the development of hwangto admixture for the application of cement mortar. *Journal of the Korean Institute of Building Construction* (6): 95-102 (in Korean).
2. Hassler, J. W., 1974. Purification with activated carbon. New York. *Chemical Publishing Co.*
3. Jung, H. W., and J. S. Moon, 1997. Application of wasted tire chips for aggregate. *Journal of the Korea Concrete Institute* 9(6): 29-37 (in Korean).
4. Mark Fintel, 1985. Handbook of concrete engineering, 2nd Ed. *Van Nostrand Reinhold Comp*: 45-94.
5. Shin, S. W., 1994. High-strength and high-performance concrete in korea. *ACI SP 159*: 135-143 (in Korean).
6. Sung, C. Y., 1997. An experimental study on the development and engineering performance of rice-husk ash concrete. *Journal of the korean Society of Agricultural Engineers* 39(5): 55-63 (in Korean).
7. Sung, C. Y., and Y. I. Kim, 1998. Physical and mechanical properties of rice straw ash concrete. *Journal of the korean Society of Agricultural Engineers* 40(4): 103-108 (in Korean).
8. Sung, C. Y., N. H. Ryu, and J. N. Youn, 2002. Physical and mechanical properties of mortar using non-active hwangto and stone dust. *Journal of the korean Society of Agricultural Engineers* 44(6): 83-89 (in Korean).
9. The Korea Concrete Institute (KCI), 2005. The newest engineering of concrete: 313-428 (in Korea).
10. Woo, J. K., 2006. A study on the development of friendly environment mortar by using activated carbon as fine aggregate. *Journal of the Korean Institute of Building Construction* 6(2): 105-109 (in Korean).