결합재량에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 공극률과 강도 및 식생 블록 내 초기 생장 특성

Void Ratio and Strength of Porous Polymer Concrete and Initial Growth Properties within Planting Block with Binder Contents

성찬용* · 김영익**†

Sung, Chan Yong · Kim, Young Ik

ABSTRACT

This study was performed to evaluate the void ratio and strength of porous polymer concrete used coarse aggregates and unsaturated polyester resin to find optimum mix design of porous polymer concrete for planting block. Also, this study was performed to evaluate the planting properties of herbaceous plant and cool-season grass in porous polymer blocks based on the experimental results of porous polymer concrete to develop environmentally friendly planting blocks. Tests for the void ratio and compressive strength of porous polymer concrete were performed at the curing age 7 days. Also, kinds of plants such as *Tall fescue*, *Perennial ryegrass*, *Lespedeza* and *Alfalfa* for planting were applied to porous polymer blocks. Within 6 weeks after seed, initial germination ratio, cover view and growth length for planting blocks were estimated by various methods.

Keywords: Porous polymer block; polymer planting block; germination, cover view

1. 서 론

최근 환경문제가 사회적으로 전분야에 걸쳐 크게 대두되면서 건설분야에서도 친환경건설공법 및 건설재료 개발에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다. 특히 콘크리트 분야에서 환경을 고려한 콘크리트를 환경친화형 콘크리트 (Eco-concrete)라 하며, 자원재활용, 폐기물, 부산물의 활용 등과 같이 환경보존에 의한 환경부하저감에 기여할 수 있는 환경부하저감형 콘크리트와 지구 환경과의 조화를 통한 쾌적한 환경조성 뿐만 아니라 생물의 종 다양성 확보, 서식처 제공을 위한 수변공간 창출을 목적으로 하는 생물대응형 콘크리트로 구분된다. 환경부하저감을 위한 콘크리트의 혼화재료로는 플라이 애시, 고로슬래그미분말 및 소각재 등이 사용되며 인간과 자연과의 조화를 위한 생물대응형 콘크리트에는 다공성 콘크리트의 공극을 활용한 식생 콘크리트가 가장 대표적이다 (Sung et al, 2003).

식생콘크리트는 다공성 콘크리트의 연속적인 공극을 활용하여 식물의 뿌리를 내리고, 보수성 충전재를 사용하여 수분과 영양분을 공급하며, 콘크리트의 상부에 객토를 실시하여 씨앗이 발아될 수 있도록 한 것으로서, 자연친화적이면서 동·식물의 서식처 제공 등의 생태 및 환경보호가 가능하여 하천 호안 및 사면 등의 녹화 공법에 활용되어지고 있다 (Park et al., 2000; Sung et al., 2003).

한편, 식생을 위한 다공성 콘크리트에는 시멘트를 결합재로 사용한 다공성 시멘트 콘크리트가 주를 이루고 있으나 골재와 골재의 결합에 의해 강도 발현을 하는 구조적 특성상 시멘트의 낮은 결합력에 의하여 내약품성 및 동결융해저항성 등의 내구성이 저하되는 단점을 내포하고 있다 (Park et al, 2010).

한편, 건설기술의 비약적인 발전으로 구조물의 대형화 및 고층화 등 사용환경이 점차 확대됨에 따라 새로운 건설재료에 대한 인식이 대두되면서 고분자 재료인 폴리머를 활용한 폴리머 콘크리트에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 폴리머 콘크리트는 일반 시멘트 콘크리트에 비하여 강도 뿐만 아니라 내마모성, 내충격성, 내약품성 및 내동결융해성 등과 같은 내구성이 매우 우수한 것으로 알려져 있다 (Folwer, 1994).

따라서 본 연구는 결합력이 높은 불포화폴리에스터 수지와 쇄석을 활용한 포러스 폴리머 블록 내 식생 적용을 통한 폴리머

* 충남대학교 지역환경토목학과

** 충남대학교 농업과학연구소

† Corresponding author Tel.: +82-42-821-7866

Fax: +82-42-821-8877

E-mail: kimyoungik@empal.com

2010년 10월 25일 투고

2010년 11월 3일 심사완료

2010년 11월 18일 게재확정

식생 블록을 개발하여 하천의 호안 및 사면의 녹화 공법에 활용하기 위한 것으로서, 결합재량에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 공극률 및 압축강도 특성과 포러스 폴리머 블록에 한지형 잔디 및 초본식물의 식재를 통한 폴리머 식생 블록 내에서의 식물의 초기 발아 및 생장 특성에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

포러스 콘크리트는 구조상 결합재에 의해 피복된 골재와 골재의 결합력에 의해 강도 발현이 되기 때문에 결합력이 높은 결합재를 사용하는 것이 구조적 안정성을 높이는데 중요하다. 본 연구에서는 결합재로 메틸에틸케톤 프로사이드가 55 % 함유된 DMP 용액을 개시제로 사용하며 코발트계 경화촉진제가 첨가되어 있는 울소타입의 불포화폴리에스터 수지를 사용하였으며, 이에 대한 일반적 특성은 Table 1과 같다. 굵은골재는 골재 크기에 따른 공극률 및 강도 특성을 분석하기 위하여 5 ~ 10 mm 및 5 ~ 20 mm의 채석을 사용하였으며, 이에 대한 물리적 성질은 Table 2와 같다. 또한, 결합재의 점성 및 결합재와의 페이스트로 골재와 골재의 결합력을 증가시키기 위한 충전재로는 중질탄산칼슘을 사용하였으며, 이에 대한 물리적 특성은 Table 3과 같다.

포러스 폴리머 콘크리트 블록 내 식생 적용을 위한 품종은 녹화시 피복 밀도가 높으며, 초기 생육속도가 우수하여 우리나라의 비탈면 시공에 많이 사용되는 잔디와 자생식물을 적용하였다. 잔디로는 내한성과 내서성이 우수하여 광범위한 토양 조

건에 잘 적응하는 한지형 잔디로서 툴헤스큐 (Tall fescue)와 페레니얼 레이그라스 (Perennial ryegrass)를 선정하였고, 자생식물로는 산기슭이나 강가의 모래 땅에서 자라는 다년 초본 식물로서 난지형 자생 식물인 레스페데자 (Lespedeza) 및 알팔파 (Alfalfa)를 선정하였으며, 각각 단일 파종하였다.

2. 배합설계 및 제작

식생 적용을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 공극률, 강도 및 내구성 등에 영향을 미치는 가장 중요한 요소는 사용되는 결합재량으로서, 결합재량이 많으면 폴리머가 골재를 피복한 후 여분의 결합재에 의해 공극이 채워지고, 바닥면의 공극 막힘 현상에 의하여 연속적인 공극 형성이 곤란하여 식물의 뿌리가 관통할 수 없으며, 식생 블록으로서의 기능을 할 수 없게 된다. 또한 포러스 폴리머 콘크리트 블록 내 식생 적용시 한지형 잔디 및 자생 식물의 뿌리가 관통할 수 있도록 충분한 연속공극률을 확보하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 포러스 폴리머 콘크리트에 식생 적용 후 식물의 뿌리가 블록 내 공극을 통하여 지반에 활착될 수 있는 공극 규모를 가질수 있도록 설계 하였으며, 식물의 장기 생장으로 활착된 뿌리에 의한 블록 내 골재의 탈락 및 공극의 파괴 등이 발생하지 않도록 18 MPa 이상의 압축강도가 발현되도록 결합재량에 따른 굵은골재량 및 충전재량을 조절하였다. 또한, 결합재량은 공시체 제작시 흘러내림이 발생하지 않는 범위에서 전체 중량의 7 ~ 8.5 %를 사용하였으며, 경화제는 공시체 제작시 28 ~ 32 °C의 실외 온도 및 제작 시간을 고려하여 결합재 중량의 1 %를 사용하였다 (ACI, 1986). Table 4는 결합재량에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 배합설계를 보여준다. 포러스 폴리머 콘크리트의 혼합은 충전재 및 골재를 투입하여

Table 1 Properties of unsaturated polyester resin

Specific gravity at 20°C	Viscosity (20°C, poise)	Styrene content (%)	Acid value
1.12	3.5	37.2	26.5

Table 2 Physical properties of coarse aggregates

Type	Size (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M	Bulk density (kg/m ³)
Crushed	5-10	2.64	1.25	6.72	1,581
	5-20	2.64	1.25	6.94	1,544

Table 3 Physical properties of filler

Filler	Grain size (mm)	Specific gravity	Color	Specific surface (cm ² /g)
CaCO ₃	< 0.15	2.92	White	3,150

Table 4 Mix designs of porous polymer concrete for planting (Wt. %)

Mix type	Aggregate size (mm)	Binder contents	Coarse aggregate	Filler	Remark
PPC (10)*	5 ~ 10	7	86	7	
		7.5	85.5	7	Planting
		8	85	7	
		8.5	84	7.5	
PPC (20)**	5 ~ 20	7	86	7	
		7.5	85.5	7	Planting
		8	85	7	
		8.5	84	7.5	

* PPC(10) : porous polymer concrete used 5 ~ 10 mm size of aggregate

** PPC(20) : porous polymer concrete used 5 ~ 20 mm size of aggregate

건비빔한 후 불포화 폴리에스테르 수지를 투입하여 약 3분간 고속믹서기로 혼합하여 결합재가 골재를 충분히 피복할 수 있도록 하였으며, 피복된 골재를 몰드에 타설하여 진동기에 의한 진동 다짐을 1분간 실시하였으며, 약 3시간 후 탈형하여 재령 7일까지 상온에서 양생하였다.

식생 적용을 위한 포러스 폴리머 블록의 배합은 식생 적용 후 뿌리의 활착을 위한 공극 확보와 활착에 따른 골재의 저항성 및 경계성을 고려하여 상기 배합설계 중에서 결합재량을 7.5 % 사용한 PPC (10) 배합과 PPC (20) 등 2 종류로 하였다. 식생 블록의 단면은 식생 후 발아율, 피복도 및 식물의 생장 특성 등의 평가가 용이하도록 24×24 cm의 크기로 하였으며, 블록의 높이는 식생 후 식물의 뿌리가 고착되어 성장할 수 있는 공간을 확보할 수 있도록 5 cm로 하였다.

3. 식생 적용

포러스 폴리머 블록 위에 씨앗을 파종하기 전 포러스 폴리머 블록에 진동기로 배양토를 충전하여 식물의 뿌리 근입시 영양분 및 수분을 공급할 수 있도록 하였으며, 배양토가 충전된 블록 위에 배양토를 1 cm로 포설하여 씨앗 파종시 씨앗의 유실을 방지하고 수분의 함유율을 높여 발아가 원활히 진행될 수 있도록 하였으며, 파종량은 발아율 및 식물의 성장에 따른 피복도를 고려하여 블록 한 개당 톨레스큐 및 페레니얼 레이그라스는 1.2 g, 레스페데자 및 알팔파는 0.9 g으로 하였다. 식생 적용 후 온도 및 외부 환경 조절을 위하여 비닐 하우스내에서 생육이 진행될 수 있도록 하였으며, 씨앗의 발아 및 생육을 촉진하기 위하여 충분한 수분을 공급하였다. 씨앗의 발아 및 초기 생육 상태를 육안으로 매일 관찰하여 초기 발아율, 생장량 및 피복도를 측정하였으며, Fig. 1은 비닐하우스 내 폴리머 식생 블록 설치 전경을 보여준다.

Fig. 1 Planting block view in plastic house

4. 시험방법

가. 공극률

포러스 폴리머 콘크리트의 공극률 시험은 Ø100×200 mm의 공시체를 제작하여 기건상태의 중량과 수중에서의 중량을 측정하여 아래 식에 의하여 계산하였다.

$$P_0 = \left[1 - \frac{(W_2 - W_1)}{V} \right] \times 100$$

여기서, P_0 = 공극률 (%)

W_1 = 수중에서의 공시체 중량 (g)

W_2 = 기건양생한 공시체의 중량 (g)

V = 공시체의 체적 (cm³)

나. 강도

압축강도 시험은 Ø100×200 mm의 공시체를 제작하여 재령 7일에 KS F 2481(폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 규정된 방법에 준하여 실시하였다.

다. 식생 특성 시험

포러스 폴리머 블록 내 식물의 생장 특성을 분석하기 위하여 발아율, 피복도 및 생장량 등을 파종 후 6주 동안 측정하였다. 발아율 및 피복도는 육안으로 관찰하여 굵은골재의 크기 및 식물의 종류에 따른 생육 특성을 분석하였으며, 특히 피복도는 시각적 평가방법 (visual rating system)을 이용하여 파종 후 4주에 조사하였고, 시각적 평가방법에 의한 가시적 피복도 평가시 점수는 발아 직전 피복이 전혀 되지 않은 나지 상태를 1점, 피복이 가장 양호한 상태를 9점으로 하여 1-9점 사이에서 피복도를 평가하였다 (Kim et al, 2003). 또한, 생장량은 식물의 성장에 따른 지상부 초장의 길이를 직접 측정하여 정성적 평가를 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 포러스 폴리머 콘크리트의 특성

가. 공극률

식생 적용을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 공극은 적용된 식물의 뿌리가 블록을 관통하여 원지반에 고착될 수 있도록 연속적인 공극을 형성하는 것이 중요하다.

Fig. 2는 결합재량 및 골재 크기에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 공극률을 나타낸다. PPC (10)에서 결합재량이 증가함에

Fig. 2 Void ratio with binder contents

따라 공극률이 크게 감소하는 경향을 나타내었으며, 공극률의 범위는 18~26 %를 나타내어 결합재량이 공극률에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 결합재량이 증가할 경우 충전재와 함께 골재를 완전 피복하는데 소요되는 결합재를 제외한 여분의 결합재는 공시체 제작시 흘러 내림에 의해 공극의 막힘 현상을 발생시키기 때문에, 여분의 결합재가 발생하지 않도록 충전재를 증가시킴으로서 결합재와 충전재로 구성된 페이스트가 증가하여 골재의 피복 두께를 증가시켰기 때문이라 판단된다. 또한, Park et al. (2002)은 동일한 입도의 경우 페이스트골재비가 증가함에 따라 상대적으로 시멘트 페이스트량이 증가함으로써 공극이 감소하여 공극률이 감소한다는 연구결과와 유사한 경향을 나타내었다. 한편, Noh et al. (2009)의 불포화수지를 사용한 투수 콘크리트에서 결합재량 및 골재 크기에 따라 공극률이 23~38 %의 범위를 나타낸 것에 비하여 공극률이 다소 낮게 나타났다.

한편, PPC (20)에서도 결합재량이 증가함에 따라 공극률이 크게 감소하는 경향을 나타내었으며, 결합재량에 따른 공극률은 19~30 %의 범위를 나타내어 5~10 mm 크기의 골재를 사용한 배합에 비하여 공극률이 다소 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Kim et al. (2000)의 골재의 입형이 양호할수록 시험체 제작시 밀실하게 채워지고 이로 인해 공극률의 차이가 발생하며 골재의 입형이 공극률 형성에 영향을 미친다는 연구 및 Park et al. (2002)의 동일한 페이스트골재비에서는 골재 입도가 작을수록 골재의 실적률이 증가하여 공극률이 감소한다는 연구와 유사한 경향을 나타내었다.

나. 압축강도

포러스 콘크리트의 압축강도는 포러스 콘크리트의 구성 특성상 시멘트 및 골재의 미세구조에 의하여 강도를 발현하는 일반 콘크리트와는 달리 골재와 골재의 결합력에 좌우되기 때문에

사용되는 결합재의 부착 특성이 강도 발현에 영향을 크게 미치는 것으로 알려져 있다. Fig. 3은 결합재량 및 골재 크기에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 압축강도를 나타낸다. PPC (10)에서 결합재량이 증가함에 따라 압축강도는 다소 증가하는 경향을 나타내었으며, 결합재량에 따른 압축강도는 17.3~23.2 MPa의 범위를 나타내었다. 결합재량이 7 %인 배합에서의 압축강도는 17.3 MPa로 목표 압축강도인 18 MPa에 도달하지 못하는 것으로 나타나 결합재량은 7 % 보다 높은 값에서 결정되어야 할 것으로 판단된다. PPC (20)에서의 압축강도는 PPC (10)에서와 마찬가지로 결합재량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었으며, 결합재량에 따른 압축강도는 17.1~22.4 MPa의 범위를 나타내어 골재 크기가 작을수록 동일 결합재량에서 압축강도는 다소 큰 것으로 나타났다.

Fig. 4는 결합재량에 따른 압축강도와 공극률의 상관관계를 나타낸다. 골재 크기에 관계없이 압축강도가 증가함에 따라 공극률은 감소하는 경향을 나타내어 상반관계가 있음을 알 수 있

Fig. 3 Compressive strength with binder contents

Fig. 4 Correlation between compressive strength and void ratio

다. 이러한 결과는 포러스 폴리머 콘크리트의 경우 골재와 골재의 결합력에 의해 강도가 좌우되기 때문에 골재의 피복 두께가 증가할수록 강도가 높은 반면에 공극의 크기 및 공극률은 감소하게 된다.

다. pH

식물이 생육하기 위한 pH는 식물의 품종에 따라 다르지만 일반적으로 중성 토양 부근에서 식물의 생육이 유리한 것으로 알려져 있다. 다공성 폴리머 콘크리트의 pH 시험결과 6~8 범위의 pH를 나타내어 식생 적용이 가능한 것으로 나타났다. 다공성 폴리머 콘크리트의 경우 결합재인 불포화 폴리에스터 수지가 열경화성 수지로서 경화 후 분자의 재배열 등의 변화가 발생되지 않을 뿐만 아니라 경화된 물질이 용출되거나 피복된 골재 및 충전재로부터 용출이 발생되지 않기 때문에 pH 변화가 없는 것으로 판단된다. 반면에 결합재인 불포화 폴리에스터 수지에 의한 완전한 피복이 이루어지지 않을 경우 내부 골재 및 충전재로부터의 용출이 발생할 수 있기 때문에 공시체 제작시 충분한 혼합에 의하여 적절한 피복이 이루어질수 있도록 주의할 기울여야 할 것이다.

한편, 다공성 시멘트 콘크리트의 경우 시멘트의 주성분인 C_2S 및 C_3S 의 의해 수화반응시 발생하는 수산화칼슘에 의해 높은 pH를 나타내어 이인산암모늄 등으로 중성화 처리 후 식생을 적

용하는 것을 고려할 때 pH 측면에서 포러스 폴리머 콘크리트의 식생 적용은 매우 유리한 것으로 판단된다 (Park et al., 2002; Sung et al., 2002).

2. 식생 블록 내 식생 특성

가. 발아율

PPC (10) 및 PPC (20) 배합에서 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스를 파종한 경우 약 4~6일 사이에 초기발아가 시작되었으며, 초기발아율은 약 60%를 나타내었다. 포러스 폴리머 블록 내 식생 적용임에도 불구하고 모두 높은 초기 발아율을 나타낸 것은 포러스 폴리머 블록 위에 배양토를 포설함으로써 파종 초기에 씨앗이 폴리머 콘크리트와 직접 접촉하는 것을 피하였을 뿐만 아니라 씨앗이 발아할 수 있는 여건을 충분히 조성하였기 때문으로 판단된다. 이러한 결과는 일반 토양에서 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스를 파종한 경우 품종, 발아조건 및 생육환경에 따라 각각 6~9일 및 5~6일에서 초기발아율이 약 70 % 이상 도달한다는 Kim et al. (2003)의 연구 결과와 거의 유사한 경향을 나타낸다. 따라서, 한지형 잔디인 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스의 발아속도 및 발아율이 켄터키 블루그라스 및 휴잉웨스큐와 같은 다른 외래 잔디에 비하여 높기 때문에 식생 블록을 활용한 하천 호안 및 사면 녹화 공법

Fig. 5 Germination properties with kinds of plant in block (5-10 mm)

Fig. 6 Germination properties with kinds of plant in block (5-20 mm)

에 매우 유리할 것으로 기대된다 (Joo, 1995).

초본식물인 알팔파 및 레스페데자를 파종한 경우 골재 크기에 관계없이 약 5~7일에 초기발아가 시작되어 한지형 잔디인 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스와 유사한 초기 발아시점을 나타내었다. 한편, 알팔파 및 레스페데자의 초기발아율은 골재 크기에 관계없이 각각 70 % 및 25 %의 발아율을 나타내어 알팔파가 레스페데자에 비하여 초기 발아율이 다소 높은 것으로 나타났다. 초본식물인 알팔파 및 레스페데자의 경우 성장속도가 잔디 종류에 비하여 낮은 반면에 일정 기간 이상 성장할 경우 줄기 및 잎의 성장에 따른 피복 면적이 증가하므로 초기 성장속도가 우수한 한지형 잔디와 혼합하여 파종할 경우 녹화 공법 적용시 초기 및 장기적 관점에서 피복도 증가에 매우 유리할 것으로 판단된다.

한편, Fig. 5 및 Fig. 6에서 보는 바와 같이 파종 후 2주가 경과한 시점에서 톨웨스큐, 페레니얼 레이그라스 및 알팔파의 경우 골재 크기 5~10 mm 및 5~20 mm 배합 모두에서 발아율이 80 % 이상을 나타내었으며, 레스페데자는 다소 낮은 30~40 %의 발아율을 나타내었다.

나. 피복도

식생에 따른 블록의 피복도는 시각적 평가방법(visual rating

system)을 이용하여 파종 후 5주에 조사하였으며, 시각적 평가방법에 의하여 1-9점 사이에서 피복도를 평가하였다 (Kim et al. 2003).

Fig. 7 및 Fig 8은 PPC (10) 및 PPC (20) 배합에서 식생 종류에 따른 파종 후 4주가 경과한 시점에서의 피복 모습을 나타낸다. Fig. 7 (a), 7 (b) 및 8 (a), 8 (b)에서 보는 바와 같이 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스를 파종한 경우의 피복도는 골재 크기에 관계없이 각각 9점 및 8점으로 매우 양호한 피복도를 나타내었다. 파종 후 4주가 경과한 시점에서 한지형 잔디의 피복도가 우수하게 나타난 것은 잔디의 초기 성장속도가 빠를 뿐만 아니라 생육형 (growth habit)이 주형 (bunch-type, B-type)으로 직립경으로 자라 초장이 크기 때문인 것으로 판단된다. 한편, Fig. 7 (c) 및 Fig. 8 (c)에서 보는 바와 같이 알팔파의 경우 골재 크기에 관계없이 8점을 나타내어 한지형 잔디와 함께 피복도가 매우 우수한 것을 알 수 있다. 알팔파의 경우 한지형 잔디에 비하여 지상부의 초기 성장량이 낮지만 초기 발아율이 높을 뿐만 아니라 생육시 잎의 면적이 한지형 잔디에 비하여 크게 증가하여 피복도가 매우 우수한 것으로 나타났다. 반면에 레스페데자는 초기 발아율이 상대적으로 낮아서 2~3점의 피복도를 나타내어 식생 적용시 파종량의 증가 등 이에 대한 고려가 수반되어야 한다. 한편, 자생식물인 알팔파

Fig. 7 Cover view with kinds of plant (5-10 mm)

Fig. 8 Cover view with kinds of plant (5-20 mm)

와 레스페데자의 경우 생육속도가 잔디 종류에 비하여 늦지만 일반적으로 잔디 종류는 파종 후 약 3개월이면 초장의 성장이 완전하게 이루어져 피복 면적의 증가율이 둔화되는 반면에 알팔파 및 레스페데자는 다년생 식물로서 오랜 기간 동안 생장이 계속 이루어지기 때문에 생장 특성이 다른 잔디와 초본 식물을 적절히 혼합하여 파종할 경우 녹화 공법 적용시 매우 유리할 것으로 판단된다.

다. 생장량

Fig. 9는 파종 후 경과 시점에 따른 PPC (10) 및 PPC (20) 배합의 식생 블록 내에서의 지상부의 생장 길이를 나타내며, Fig. 10 및 Fig. 11은 초기 생장 모습을 보여준다. 파종 후 6주가 경과한 시점에서 골재 크기에 관계없이 톨레스큐의 생장량은 평균 10~13 cm로 높은 생장량을 나타내었으며, 페레니얼 레이그라스의 생장량은 평균 9~11 cm로 톨레스큐와 거의

Fig. 9 Growth length with kinds of plant after seed

Fig. 10 Growth properties with kinds of plant in block (5-10 mm)

Fig. 11 Growth properties with kinds of plant in block (5-20 mm)

유사한 성장량을 나타내었다. 골재 크기에 관계없이 한지형 잔디의 성장량이 높은 것은 국내 들잔디와 달리 외래 잔디의 초기 성장 특성이 우수할 뿐만 아니라 한지형 잔디의 뿌리가 가늘기 때문에 골재 크기에 따른 공극의 크기 및 연속공극률에 관계없이 초기에 뿌리의 근입이 수월하기 때문인 것으로 판단된다. 반면에 장기 성장에 따른 뿌리의 지하부 성장량이 증가할 경우 골재 크기에 따른 공극 특성이 뿌리의 근입에 영향을 미칠 수 있기 때문에 장기성장 특성 또한 고려되어야 할 것으로 판단된다. 한편, 페레니얼 레이그라스는 생육 과정 중 비닐하우스 내 온도 상승에 의해 일부 고사하는 현상을 나타내어 고온에 대한 내성이 톨웨스큐에 비해 다소 낮은 것으로 나타났다 (Shim et al, 2004). 또한, 초기 발아 및 생육이 우수한 페레니얼 레이그라스의 경우 개체 줄기 조직이 약해서 병이나 스트레스에 쉽게 약해지는 특성을 가지기 때문에 이에 대한 영향을 고려해야 할 것으로 생각된다.

파종 후 6주가 경과한 시점의 PPC (10) 및 PPC (20) 배합에서 알팔파의 성장량은 평균 3~5 cm로 골재 크기에 관계없이 초기 성장량이 크게 낮은 것으로 나타났으며, 레스페데자 또한 2~3 cm의 매우 낮은 성장량을 나타내었다. 알팔파 경우 초기 발아 시점 및 발아율은 한지형 잔디와 거의 유사하지만 초기 성장속도가 늦기 때문에 식생 초기에 사면 및 호안 등

의 녹화시 피복도를 높이기 위해서는 성장 특성이 우수한 한지형 잔디와의 혼합 파종이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 결합재량에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 공극률 및 압축강도 특성과 포러스 폴리머 블록에 한지형 잔디 및 초본식물의 식재를 통한 폴리머 식생 블록 내에서의 식물의 초기 발아 및 성장 특성을 구명한 것으로, 다음과 같은 결론이 도출되었다.

1. 결합재량이 증가함에 따라 골재 크기에 관계없이 공극률은 감소하는 경향을 나타내었으며, 골재 크기가 작을수록 실적률이 증가하여 공극률이 감소하는 것으로 나타났으나 모든 배합에서 18 % 이상의 공극률을 나타내었다.
2. 결합재량이 증가함에 따라 압축강도는 골재 크기에 관계없이 증가하는 경향을 나타내었으며, 7 % 이상의 결합재량에서 18 MPa 이상의 압축강도를 나타내었다. 한편, 압축강도가 증가함에 따라 공극률은 감소하는 경향을 나타내어 상반조건을 충족하는 최적의 식생 블록의 배합설계가 요구되어진다.
3. 배합 및 식생종류에 관계없이 초기 발아 시점은 4~7일로 거의 유사한 경향을 나타내었으며, 파종 후 2주가 경과한

시점에서 30~40 %의 발아율을 나타낸 레스페데자를 제외한 톨웨스큐, 페레니얼 레이그라스 및 알팔파는 80 %이상의 높은 발아율을 나타내었다.

4. 파종 후 4주가 경과한 시점에서 발아율이 높은 톨웨스큐, 페레니얼 레이그라스 및 알팔파는 골재 크기에 관계없이 평균 8~9점의 높은 피복도를 나타내었으며, 초기 발아율이 낮은 레스페데자는 2~3 점의 피복도를 나타내었다.

5. 파종 후 6주가 경과한 시점에서 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스의 지상부 생장량은 9~13 cm로 높은 생장량을 나타내었으며, 알팔파 및 레스페데자의 생장량은 각각 3~5 cm 및 2~3 cm로 낮은 초기 생장량을 나타내었다.

6. 결합력이 높은 불포화 폴리에스터 수지를 활용한 포러스 폴리머 블록에 식생 적용 결과 식물의 발아 및 생육이 원활히 진행되는 것으로 나타나 자연친화형 사면 및 호안의 녹화 공법에 적용할 수 있을 것으로 기대되며, 포러스 폴리머 블록 내 장기 생장 특성 및 다양한 식생종의 혼합파종 등에 관한 연구가 고려되어야 할 것이다.

본 연구는 2010년도 농림수산식품기획평가원의 농림기술개발사업 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. ACI, 1986. Guide for the Use of Polymers in Concrete, *Journal of ACI* 83(5): 798-829.
2. Folwer. D. W. 1994. Current uses of Polymer Concrete in the United States, Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete : 3-9.
3. Joo, Y. K, 1995. Selection of Turfgrass Species and Cultivars for Hydroseeding on Road Side Slope Areas, *Journal of the Korean Turfgrass Society* 9(3): 173-185 (in Korean).
4. Kim, M. H., Y. K. Baik, S. P. Kang, Y. R. Kim., and J. H. Kim, 2000, Fundamental Properties of Porous Concrete According to sizes of Aggregate, *Journal of the Korea Concrete Institute* 13(5): 438-446 (in Korean).
5. Kim, K. N., W. K. Park, and S. Y. Nam, 2003. Comparison of Establishment Vigor, Uniformity, Rooting Potential and Turf Quality of Sodds of Kentucky Bluegrass, Perennial Ryegrass, Tall Fescue and Cool-Season Grass Mixtures Grown in Sand Soil, *Journal of the Korean Turfgrass Society* 17(4): 129-146 (in Korean).
6. Noh, B. C., K. H. Choi., and J. H. Kim, 2009, An Experimental Study on Permeability in Elevation of Porous Concrete Using Unsaturated Polyester Resin, *Journal of the Korea Concrete Institute* 19(2): 163-169 (in Korean).
7. Park. S. B., and C. D. Lim, 2000, Concrete for Planting, *Journal of the Korea Concrete Institute* 12(5): 38-42 (in Korean).
8. Park. S. B., B. C. Lee, J. H. Kim., and D. Y. Yun, 2002, Planting-ability Valuation of Porous Concrete Using Industrial By-products, *Journal of the Korea Concrete Institute* 14(4): 623-629 (in Korean).
9. Park. S. B., S. H. Park, Y. I. Jang, B. J. Lee., and H. J. Jeon, 2010, An Experimental Study on the Filled State and Physical Engineering Properties of Porous Concrete Utilizing Slag and Bottom Ash ad Fine Aggregate, *Journal of the Korea Society and Waste Magemente* 27(2): 165-172 (in Korean).
10. Sung, C. Y, and Y. I. Kim, 2002, Experimental Study on pH Reduction by Neutralization Treatment and Curing Methods of Porous Concrete for Planting, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 44(2): 99-106 (in Korean).
11. Sung, C. Y, and Y. I. Kim, 2003, Experimental Study on Development of Plantable Concrete Block Using Rice Straw Ash and Application for Inclined Plane, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 45(3): 107-114 (in Korean).
12. Shim, K. Y., C. S. Kim, S. H. Lee, and Y. K. Joo, 2004. Effects of Sodding and Seeding Time and Rate of Seed Mixture on the Establishment of Cool-Season Turfgrasses, *Journal of the Korean Turfgrass Society* 18(4): 179-191 (in Korean).