

콘크리트 균열폭에 따른 녹화 식물 뿌리 침입 및 방수층의 수밀성에 미치는 영향

엄태호^{1*}, 김영삼², 이종석³, 신흥철⁴, 김영근⁵

Effect of Plant Roots Penetration and Watertightness of Asphalt Sheet according to the Cracks Width of Press Concrete

Tae-Ho Um^{1*}, Young-sam Kim², Jong-suk Lee³, Hong-chul Shin⁴, Young-geun Kim⁵

Abstract: For artificial ground greening construction without root-proofing layer, this research reviewed the effect on watertightness of asphalt waterproofing layer by plant roots penetration based on crack width, and crack penetrated roots. Experiment on concrete crack width was performed with three conditions such as 0.15, 0.30, and 0.45 mm, and all three conditions confirmed that all plant roots penetrations were made through crack area in 12 ~ 18 months. In addition, according to evaluation of effects on waterproofing layer by crack penetrated plant roots and in condition of 0.45 mm crack width, it indicated that penetration is made on asphalt waterproofing layer in 12 months due to roots penetration.

Keywords: Green roof, Concrete crack, Penetration, Watertightness, Plant roots

1. 서 론

정부에서는 조경녹화를 장려하기 위해 주거성능 등급표시 제도, 친환경 건축물 인증제도 등을 실시하고 있으며, 서울시에서는 민간건축물의 경우 설계공사비의 50%, 옥상공원화 촉진지구인 남산가시권의 경우 설계공사비의 70%를 지원하는 제도를 마련하여 장려정책을 실시하고 있다(Yi, 2014). 이와 같이 옥상, 지하 주차장 상부 등 구조물 상부 공간에 토양층을 형성하고 녹지공간을 조성하는 인공지반녹화는 산업화와 도심화로 인한 자연 녹지공간 부족현상을 해결하고 고층 건물이 밀집된 도심의 미관 향상, 대기 오염원의 정화, 도심 열섬현상 저감 등의 환경개선을 목적으로 최근 급속히 보급되고 있다. 그러나 인공녹화 후 조경용 식물의 뿌리가 성장하면서 구조물(콘크리트 기판)의 안전성이나, 유지관리상 문제점이 발생할 수 있으므로 일본에서는 이를 우려하여 지하경의 뿌리압을 실험을 통하여 조릿대의 경우 최대 9.8 N, 잔디의 경우 최대 6 N으로(Tanaka, 2006) 식물의 뿌리로 인해 방수층에

손상을 발생시킬 수 있다는 결과를 도출한 바 있다.

이에 국내에서 인공지반녹화를 실시할 경우 방수층의 수밀 안정성 확보를 위해 건축공사 표준시방서, 건축물 녹화 설계 기준 등에서 옥상, 지하주차장 상부 등 인공구조물 상부에 녹화를 하는 경우 일정 품질이상의 방근층 설치를 규정하고 있으나, 실제 우리나라의 많은 현장은 방수층 위에 누름콘크리트 타설 후 인공지반녹화를 시행하고 있는 실정이다. 이에 따라 콘크리트 구조물의 건조 수축, 자기 수축, 온도 균열 등 많은 균열이(Kim, 2015) 동반되어 인공지반녹화 후 하부층으로 누수가 발생하는 사례가 많고, 누수문제로 인한 보수공사 시 조경식물, 식생기반층, 필터층, 배수층, 방근층, 방수층 등 전체적인 재시공이 수반되어야하므로 경제적 손실이 우려된다.



(a) Occurrence of roots penetration to concrete cracks



(b) Leakage caused by plant roots

Photo 1 Defect by artificial ground greening plants(Oh, 2009)(Yi, 2009)

¹정회원, 한국건설생활환경시험연구원, 연구원, 교신저자

²정회원, 한국건설생활환경시험연구원, 선임연구원

³정회원, 한국건설생활환경시험연구원, 연구원

⁴정회원, 한국건설생활환경시험연구원, 책임연구원

⁵정회원, 한국건설생활환경시험연구원, 수석연구원

*Corresponding author: ys032@kcl.re.kr

•본 논문에 대한 토의를 2016년 2월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 3월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

(Kim, 2008; An, 2010)

본 연구에서는 현장조사를 통해 실제로 준공을 앞둔 아파트의 지하주차장 상부 콘크리트 구조체에 있어서 누수를 동반하는 균열 빈도를 조사하고, 본 실험으로서 방수층을 설치하지 않은 상태로 방수층 상부에 누름콘크리트를 타설한 후 인공지반녹화를 실시한 구조물을 모사하여 누름콘크리트의 균열부로 식물의 뿌리 침입 및 뿌리 침입에 따른 아스팔트 방수시트에 주는 영향에 대해 실험하고자 한다.

2. 구조체 누수균열

콘크리트 구조물의 누수균열의 정도를 파악하고자 지하주차장에 사용되는 Half PC 슬래브로 시공된 아파트 현장에 대한 누수균열조사를 실시하였다.

조사현장은 지하주차장이 지하 1층 및 지하 2층에 시공되어 있는 현장으로서 육안으로 식별이 가능한 부분의 균열을 조사하였으며, Fig. 1에 지하 1층 상부에 발생된 누수균열을 적색으로 표시하였다. 누수균열은 아파트동과 연결부위의 콘크리트 슬래브 부분 및 트럭 등 운반 차량의 이동통로 부분에서 Half PC 슬래브 중앙부에 차량 이동방향을 따라 일직선으로 누수균열이 빈번히 발생하였다. 또한, 지하주차장 상부 슬래브 및 누름콘크리트의 균열 발생을 확인하였다. 이와 같은 누수현상은 방수층 및 하부 구조슬래브의 관통 균열로 인해 발생하는 것으로 사료되며, 전체적으로 건설 초기에서도 빈번한 초기 누수현상을 보이므로 장기적인 수밀성은 더욱 취약할 것으로 예상되는 만큼 장기적 수밀성 확보 대책이 중요할 것으로 사료된다.

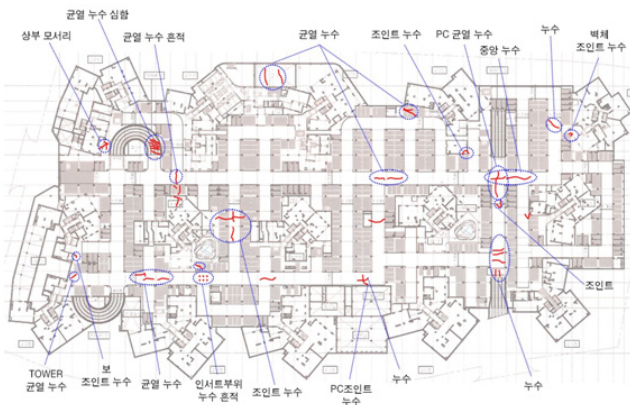


Fig. 1 Water leakage survey of construction site

Table 1 Experimental plan

	Crack width	Construction of asphalt waterproofing sheet
Plan 1	0.15, 0.30, 0.45 mm	×
Plan 2	0.45 mm	○

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험 계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같다. 기존 건축물 녹화의 경우 구조체 슬래브 상부에 방수층 및 누름콘크리트를 설치하고 그 상부에 녹화를 실시하게 되는데, 이 경우 누름콘크리트 타설 후 건조 수축, 자기 수축, 온도에 의한 균열 발생 등을 모사하여 균열 부를 통한 식물의 뿌리 침입 여부 및 아스팔트 방수시트에 미치는 영향을 평가하기 위해 다음과 같이 계획하였다. 실험 환경 및 토양, 시험식물은 KS F 4938에서 규정하는 재료를 사용하며 실험체는 실험 목적에 부합되게 제작하여 실험을 진행한다. 첫 번째 계획에서는 0.15, 0.30, 0.45 mm 균열 폭의 콘크리트 블록 실험체 상부에 식재된 식물의 뿌리가 균열로 침입하는지를 검토하기 위함이고, 두 번째는 콘크리트 블록 실험체 균열 부로 침입된 뿌리가 그 하부의 방수층을 손상시키는지를 검토하는 것으로 실험을 계획하였다.

3.2 실험 방법

3.2.1 실험 환경

식재 후 초본식물과 목본식물의 지속적인 성장을 위해 온도 유지 및 환경 조절이 가능한 유리온실에서 실험을 진행하고, 환경 조건으로는 사계절 내내 14~35°C의 온도를 유지시키면서 주 3회 이상 토양의 수분관리를 실시한다.

3.2.2 실험 1 : 균열폭에 따른 뿌리 침투성 실험체 제작

본 실험은 방수층을 설치하지 않은 누름콘크리트 위에 직접 옥상녹화를 시행하는 경우의 대상으로 누름콘크리트의 균열 틈사이로 실험식물의 뿌리가 침입하여 관통하는지를 평가하는 실험방법으로서 먼저, 식물의 뿌리 침입으로 아스팔트 방수층에 미치는 영향을 확인하기 전 균열 부 크기에 따라 뿌리의 침입 여부를 확인하고자 하였다. 뿌리의 침입 평가는 KS F 4001 포장용 콘크리트 평판에서 규정하는 60 mm 두께의 보통 평판을 200×200 mm로 밀링머신으로 정밀하게 절단하여 맞댐 이음 하였고, 균열 폭을 일정하게 유지시키기 위해 보도블럭 과 보도블럭 사이에 0.15mm의 STS 스페이서를 단독 또는 겹쳐 끼워 일정 균열 폭을 갖는 실험체 밀판을 제작 한다. 실제 현장에서의 균열은 균열 부의 시작부위가 넓고 하단부



Photo 2 Concrete crack specimen assemble process

로 내려갈수록 균열의 폭이 작아지는 형태를 띄는데 실제 균열에 대한 재현의 어려움으로 일정크기의 균열로 실험을 진행한다. 균열 폭은 0.15, 0.30, 0.45 mm로 실험하였으며, 균열 폭의 확장방지를 위해 보도블럭 고정용 프레임을 사용한다. 그 외부로 백업용 부직포와 STS 외부용기를 설치하였다. 그에 따른 제작과정을 Photo 2에 나타내었다.

실험용기의 형태는 4측면으로 뿌리의 이동을 방지하고자 고경질/고내화확성의 PET계 방근시트(NET 제754호 제품)를 고경질의 실란트로 보도블럭 4측면에 실링하여 제작하고, 균열 부로 식물의 뿌리 침입 여부를 평가하기 위해 투명밀판을 위에 일정 균열 폭을 갖는 실험체 밀판을 설치한다. 실험용기의 개요는 Fig. 2에 나타내었다. 실험용 토양, 시험식물, 식재방법 및 관리방법은 국내에서 방근시험 방법으로 사용되는 KS F 4938에서 규정하는 방법에 따라 진행한다. 토양으로는 피트모스 70%, 입경 1.7~5.0 mm의 펄라이트 30%를 부피비로 혼합한 것을 사용한다. 식물로는 피라칸타(*Pyracantha coccinea*, 높이 : 700±100 mm)와 사사조릿대(*Pleioblastus pygmaeus*, 높이 : 170±30 mm)를 평가 식물로 사용한다. 식재가 끝난 실험체의 생육기간 동안 실험체 관리는 1주일에 3회 이상 순회하면서 일조 및 온도·습도점검, 토양의 수분관리, 식물의 병충해

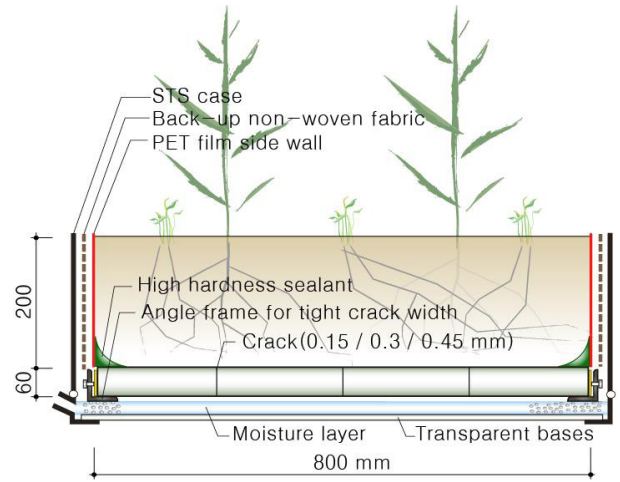


Fig. 2 Section of specimen installation

방제, 제초작업 등을 실시한다. 시험식물 뿌리의 침입 평가는 매 6개월마다 지게차를 이용하여 시험용기 전체를 들어 올려 하부 투명 밀판을 통해 시험식물 뿌리의 관통 여부를 관찰하며 최종적으로 2년 경과 후 시험용기 내부의 토양 및 시험식물을 완전히 제거하여 블록의 균열부에 침입한 식물 뿌리를 관찰한다.

3.2.3 실험 2 : 아스팔트 방수시트 시공 및 실험체 제작

균열 부를 통한 식물의 뿌리 침입으로 누름콘크리트 하부에 시공된 아스팔트 방수시트에 주는 영향을 평가하기 위한 실험으로서 실험체 제작은 앞의 제작과 동일한 조건으로 제작하였으며 일정 균열 폭으로 한 보도블럭 하단부에 두께 2 mm의 아스팔트 방수시트를 시공하여 아스팔트 방수시트에 미치는 영향을 평가한다. 균열 폭은 식물의 뿌리가 균열 부로 침입하였을 때 식물의 뿌리 생육상태를 고려하여 0.45 mm 조건으로 실험을 진행하였으며, 아스팔트 방수시트 시공은 실제 시공 상태를 감안하여 접합부를 50 mm 열융착으로 접합한다. 또한, 수평형 수직부가 만나는 4곳의 모서리는 접어 올려 설치한다. 실험체 수는 식재 후 상황에 따라 식물의 뿌리 생육 상태가 달라질 수 있음을 감안하여 동일한 아스팔트 방수시트를 시공 한 실험체에 대해 2개를 제작하여 평가하였다. 제작 과정 및 실험 용기 개요는 Photo 3과 Fig. 3에 나타내었다.

4. 실험 결과

0.15, 0.30, 0.45 mm 균열 폭의 콘크리트 블록 실험체 상부에 식재된 식물의 뿌리가 균열 부에 뿌리의 침입 여부 평가 및

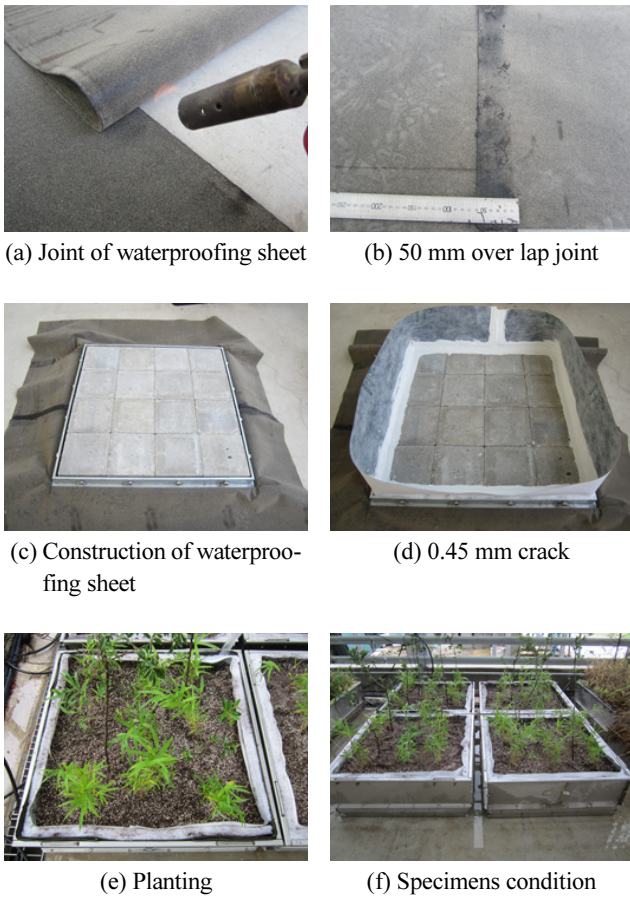


Photo 3 Specimen production and planting

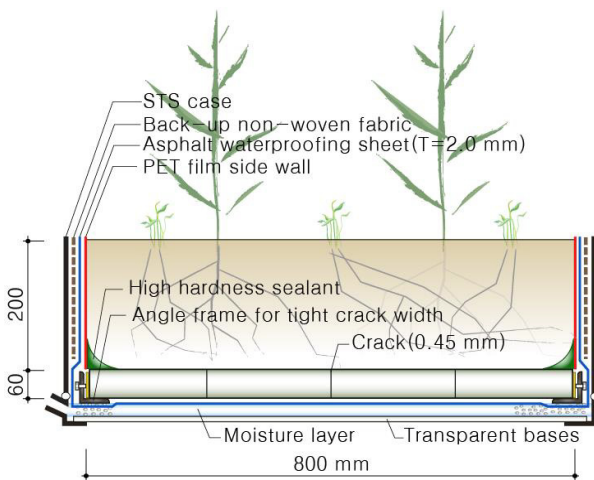


Fig. 3 Section of specimen installation

콘크리트 블록 실험체 균열 부로 침입된 뿌리가 그 하부에 시공된 아스팔트 방수시트에 미치는 영향을 실험한 결과는 다음과 같이 나타났다.

4.1 균열 부에 따른 식물의 뿌리 침투성 평가

0.15, 0.30, 0.45 mm의 균열 부에서 식물의 뿌리 침입 여부를 평가 하였을 때 식물의 생육상태는 양호 하였으며 평가는 식재 일로부터 6개월 마다 2년 동안 중간 평가 및 최종 평가를 진행 하였다. 평가 결과는 Photo 4 ~ Photo 6에 나타내었다. 중간 및 최종평가 결과 고경질/고내화학적성의 PET계 방근시트를 4측면에 실링하여 제작한 부분으로 0.15, 0.30, 0.45 mm 3조건 모두 식물의 뿌리 및 줄기의 성장으로 인하여 측면 부 PET계 방근시트의 뚫림이나 파손 등이 나타나지 않았다. 0.15, 0.30 mm의 균열 폭에서 식재 후 18개월에 콘크리트 블록 하단부로 뿌리의

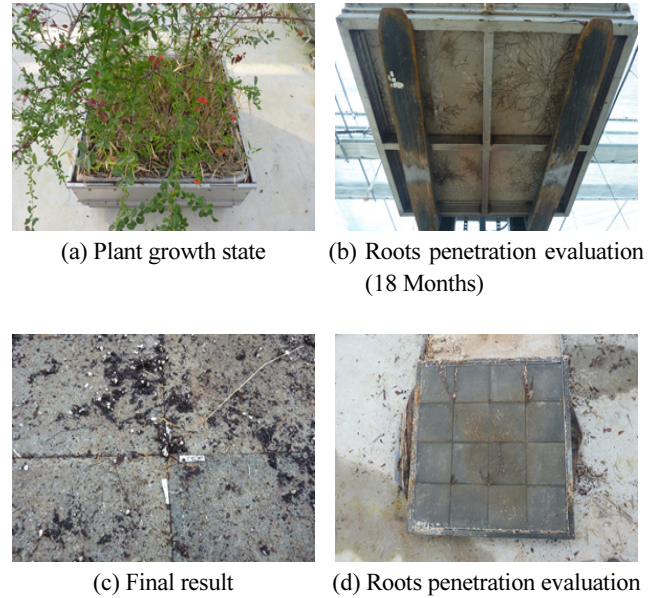


Photo 4 Result of resistance to root penetration (0.15 mm crack)

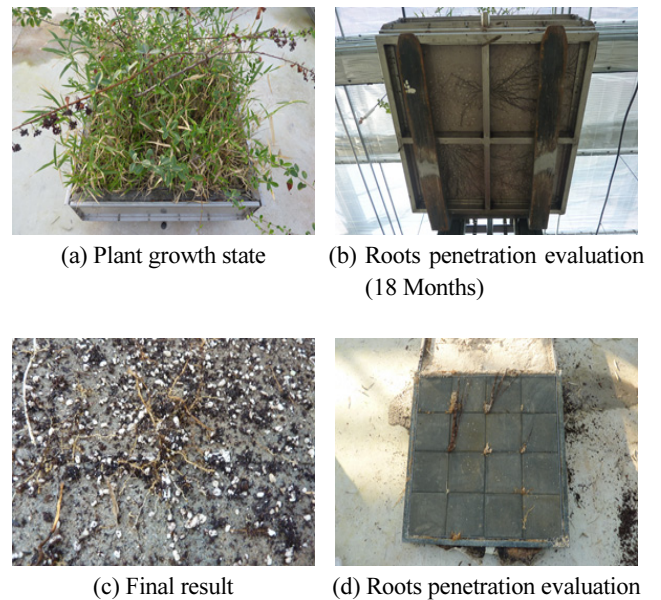
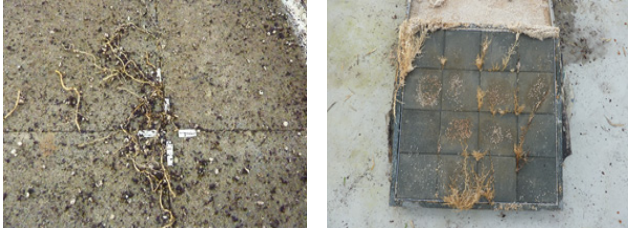


Photo 5 Result of resistance to root penetration (0.30 mm crack)



(a) Plant growth state (b) Roots penetration evaluation (12 Months)



(c) Final result (d) Roots penetration evaluation

Photo 6 Result of resistance to root penetration(0.45 mm crack)

Table 2 Root penetration test result of crack

Case	6 months	12 months	18 months	24 months
0.15 mm	×	×	○	○
Plan 1 0.30 mm	×	×	○	○
0.45 mm	×	○	○	○

× Non-occurrence of roots penetration to concrete cracks
○ Occurrence of roots penetration to concrete crack

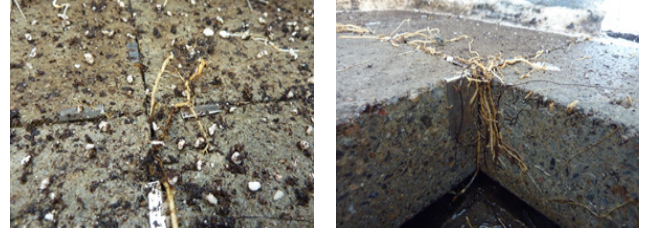
침입 및 관통이 발생하였으며, 0.45 mm의 균열 폭에서는 12개월에 뿌리의 침입·관통이 발생하였다. 평가결과는 Table 2에 나타내었으며, 뿌리 침입 평가 분석결과 0.15 mm와 0.30 mm에서는 뿌리가 침입할 수 있는 부분의 균열폭이 좁아 얇은 뿌리 위주의 침입으로 인해 뿌리 침입 기간이 오래 걸린 것으로 판단되며, 0.45 mm에서는 굵은 뿌리의 침입이 가능하여 짧은 기간에 침입 및 관통이 된 것으로 판단된다. 이로 인해 누름콘크리트의 건조 수축, 자기 수축, 온도에 의한 균열이 발생할 경우, 그 상부에 식재된 식물 뿌리가 콘크리트의 균열부를 침입하고 완전히 관통하여 하부로 지속 성장할 수 있음을 확인하였다.

4.2 방수층의 수밀성에 미치는 영향

누름콘크리트 층의 균열이 발생하였을 경우, 균열 부로 침입된 식물의 뿌리가 아스팔트 방수시트에 미치는 영향을 평가한 결과는 Photo 7에 나타내었다. 중간 평가결과 2개 실험체 모두 4측면의 고경질/고내화학적 PET계 방근시트 및 아스팔트 방수시트를 접어 올려 시공한 부분에서는 식물의 뿌리에 의한 침입이나 뚫림이 발생하지 않았으며, 0.45 mm의 균열 폭으로 한 1개 실험체는 12개월에 콘크리트 블록 실험체 균열 부로 침입된



(a) Plant growth state (b) Roots penetration evaluation (12 Months)



(c) Final result (d) Internal observation of crack section



(e) Waterproofing sheet surface observation (f) Roots penetration observation

Photo 7 Result of asphalt waterproof sheet(0.45 mm crack)

Table 3 Root penetration test result of crack and sheet

Case	6 months	12 months	18 months	24 months
Plan 2 0.45 mm	×	◎	◎	◎
	×	×	◎	◎

× Non-occurrence of roots penetration to concrete cracks
◎ Root penetration to concrete cracks and waterproofing layer

뿌리가 그 하부의 방수층을 관통하여 투명 밀판을 통해 관찰되었고, 다른 1개의 실험체는 18개월에 관통이 관찰되었다. 제작된 콘크리트 블록 실험체를 제거하여 최종 평가한 결과 식물의 뿌리가 다수 침입하였으며, 침입된 식물의 뿌리로 인한 하단부 방수층에 관통이 된 것으로 관찰 되었다. 아스팔트 방수시트 (THK 2.0 mm)가 방근시트에 비해 치밀성 및 내식성, 내충격성이 낮아 식물의 뿌리 침입에 취약하여 관통됨을 알 수 있다.

식물의 뿌리 침투성 및 아스팔트 방수시트의 관통유무를 2년간 6개월 간격으로 평가한 결과 균열부 0.45 mm, 아스팔트 방수시트 시공한 0.45 mm에서는 12개월에 뿌리 침입 및 관통이 되었으며, 평가 결과는 Table 3에 나타내었다.

5. 결 론

본 연구에서는 인공지반 녹화 시 방수층 상부에 시공된 누름콘크리트의 균열부를 통해 녹화 식물 뿌리가 침입하여 방수층을 손상시킬 수 있는지를 실험적으로 검토하였다. 그 결과 균열 폭 0.15, 0.30, 0.45 mm 3조건에서 모두 균열 폭의 콘크리트 블록 실험체 상부에 식재된 식물의 뿌리가 균열 부를 침입하고 완전히 관통하였다. 또한, 0.45 mm의 균열 부로 침입된 뿌리가 그 하부 방수층의 수밀성에 미치는 영향을 평가하였을 때, 아스팔트 방수층에 뿌리 관통 발생된 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 누름콘크리트 위에 방근층을 설치하지 않고 옥상녹화를 시행할 경우 누름콘크리트의 건조 수축, 자기 수축, 온도 상승 등으로 인한 균열 발생 시 상부에 식재된 식물의 뿌리가 균열 부를 통해 침입하여 균열 부 확장 및 아스팔트 방수시트를 관통하여 누수로 이어질 수 있음을 예상할 수 있다. 본 연구의 결과를 통해 인공지반 상부 녹화부의 환경 조건으로부터 구조물의 장기적인 내구성 확보를 위해 방근재료 및 공법의 적용이 반드시 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 주거환경연구사업의 연구비지원(15RERP-B082204-02)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Yi, J.H., and Choi, S.M. (2014), A Study on the Evaluation of Waterproofing and Root Barrier Materials Using the Mock-up Needle., *Architectural Institute of Korea*, 16(02), 117-124.
2. Kim, G.Y., Choi, H.G., Lee, E.B., Nam, J.S., and Han, M.K. (2009), A Study on the Development of Flat Ring Type Restrained Test Method and Performance Evaluation for Evaluating Shrinkage Cracking Properties of Concrete in Early Age., *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 18(2), 795-797
3. Tanaka, K., PYO, S., and Miyauchi, H. (2006), Development of Apparatus for Measuring Penetration force of Rhizome tip, and Some Measured Force on Bamboo Grass and Lawn Grass., *Journal of structural and construction engineering*, 67-71.
4. Oh, S.G., Kim, Y.G., Shin, J.J., Kim, H.S., and Kwon, S.W. (2009), A Standard Test Methods of Resistance to Root Penetration for Waterproofing and Rootproofing Membrane Using Green Roof System., *Architectural Institute of Korea*, 25(11), 95-105.
5. Yi, J.H., Pyo, S.J., Shin, J.H., and Oh, S.G. (2009), A Study on Test Method for Evaluating Root Resistance in Waterproofing and Root Resistance Membrane Used in Landscape Architecture., *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 9(1), 89-97.
6. An, S.R., Kwak, K.S., Choi, S.M., and Oh, S.K. (2010), Understanding of Waterproofing Construction Method and Construction Technology, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 10(4), 15-16.
7. Cho, K.S., and Park, W.Y. (2012), The Rooftop Waterproof of Public Facilities and the Study of Improvement Way Urethane Rubber Film Waterproof, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 12(6), 86.

Received : 11/17/2015

Revised : 12/07/2015

Accepted : 12/27/2015

요 지 : 최근 인공지반녹화가 주변 생활공간의 쾌적화, 에너지 절약효과, 도시 미관의 환경개선 등의 장점을 갖고 있어 콘크리트 위에 녹화 공간 조성이 증가하고 있다. 이에 따라 건축공사 표준 시방서, 건축물 녹화 설계기준 등에서는 방수층의 수밀안정성 확보를 위해 일정 품질 이상의 방근층 설치를 규정하고 있으나, 실제 우리나라의 많은 현장은 방수층 위에 누름콘크리트 타설 후 인공녹화를 시행하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 방근층을 시공하지 않은 현장을 대상으로 지표층을 설정하였으며, 누름콘크리트의 균열에 따른 식물의 뿌리가 균열부로 침입 및 관통하여 누름콘크리트 하단부의 아스팔트 방수시트에 미치는 영향을 평가하였다.

핵심용어 : 인공녹화, 균열부 침입, 아스팔트 방수시트
