

플리머 분말 혼입율에 따른 2층 포장용 고성능 콘크리트의 자기수축 특성

Shrinkage Cracking Resistance of a Very High Performance Concrete for 2LCP in Accordance with the Polymer Powder Mixing Rate

윤 병 림	Yun, ByeongRim	강원대학교 토목공학과 석사 (E-mail : qod1109@naver.com)
윤 경 구	Yun, Kyongku	정회원 · 강원대학교 토목공학과 교수 (E-mail : kkyun@kangwon.ac.kr)
이 거 래	Lee, KyeRe	정회원 · 강원대학교 토목공학과 박사수료 (E-mail : leekr@kangwon.ac.kr)
한 승 연	Han, SeungYeon	정회원 · 강원대학교 토목공학과 박사수료 · 교신저자 (E-mail : tmddus0420@kangwon.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This purpose of this study is to analyze the effect to autogenous shrinkage of the top-layer material of a two-lift concrete pavement mixing both silica fume and polymer powder.

METHODS : The bottom-layer of a two-lift concrete pavement was paved with original portland cement (OPC) with a 20~23 cm thickness. Additionally, the top-layer which is directly exposed to the environment and vehicles was paved with a high-performance concrete (HPC) with a 7~10 cm thickness. These types of pavements can achieve a long service life by reducing joint damage and increasing the abrasion and scaling resistance. In order to integrate the different bottom and top layer materials, autogenous shrinkage tests were performed in this study according to the mixing ratio of silica fume and polymer powder, which are the admixture of the top-layer material.

RESULTS : Autogenous shrinkage decreased when polymer powder was used in the mix. Contrary to this, autogenous shrinkage tended to rise with increasing silica fume content. However, the effects were not significant when small amounts of polymer powder were used (3% and 11%).

CONCLUSIONS : The durability and compressive strength increase when silica fume is used in the mix. The flexural strength considerably increases and autogenous shrinkage of concrete decreases when polymer powder is used in the mix. As seen from above, the proper use of these materials improves not only durability, but also autogenous shrinkage, leading to better shrinkage crack control in the concrete.

Keywords

two-layer concrete pavement, silica fume, polymer powder, auto shrinkage, durability

Corresponding Author : Han, Seungyeon
1 Kangwondaehak-gil, Chuncheon-si, Gangwon-do, 24341
Republic of Korea
Tel : +82.33.250.6240 Fax : +82.33.255.6241
E-mail : tmddus0420@kangwon.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ksre.or.kr/>
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Dec. 22, 2017 Revised Dec. 27, 2017 Accepted Apr. 02, 2018

1. 서론

1.1. 논문개요

7일 전의 초기재령에 있어서 수축균열은 인장응력에

저항하는 콘크리트의 강도가 초기에 충분하지 않은 조건에서 발생하고 있으며, 이는 슬래브부재와 같이 부재면적이 넓고 두께가 얇은 경우에 균열발생의 위험이 높

다. 또한 구조물의 하중에 견디는 능력을 감소시킬 뿐만 아니라 균열 초기시점으로서 이후 발생하는 결함을 급속하게 증대시킨다(최형길, 2009).

콘크리트 내부에서의 초기균열은 불균등한 침하, 콘크리트표면의 급격한 수분손실, 콘크리트표면의 경화가 진행되어지는 동안 콘크리트내부의 침하가 동시에 이루어져 발생하는 균열, 거푸집 변형에 따라 균열 및 재하, 진동에 의한 균열 등으로 나눌 수 있다. 콘크리트가 경화한 후에 발생하는 균열의 종류는 알칼리-골재반응, 열응력, 건조수축에 의한 균열 등 콘크리트 내·외의 온도차에 의해 생기는 균열, 탄화수축변형, 과한 기계진동에 의한 균열, 크리프, 이상 물질의 혼입, 동결융해에 의한 균열 등으로 구분할 수 있다.

콘크리트 구조물에 균열이 발생하게 되면, 구조물의 사용성과 안전도에 미치는 영향을 먼저 분석하여야 한다. 콘크리트 구조물에서 균열을 야기하는 가장 중요한 인자는 균열저항성이며 포장의 경우 수축과 온도변화에 따른 체적변화로 인해 구속력이 발생되고 궁극적인 기능을 달성할 수 없게 한다. 이를 위해서는 먼저 균열의 정확한 원인을 규명하고, 적절한 대책을 강구하는 것이 바람직하다. 대체적으로 균열은 인장응력이 내부에서 발생할 때, 인장응력이 콘크리트의 인장강도에 도달하게 되면 균열이 발생한다. 현재 현장에서는 구조물에 건조수축과 자기수축으로 인한 균열발생확률이 매우 높으며, 이로 인해 구조물의 내구성능을 저하시킨다.

본 연구에서는 기존 국내 콘크리트 포장의 장점을 더욱 부각시키고 단점을 보완하는 방법으로 미국이나 유럽 등 선진국에서 실용화 되고 있는 2층 콘크리트 포장 공법에 셀룰러 스프레이 콘크리트를 적용시켜 상부층의 성능을 높이기 위해 연구를 진행하였다. 현재 국내포장에서 가장 주요한 파손의 형태가 균열이며, 그 원인은 수축에 있다. 이러한 균열발생은 타설 후 공기와 접촉하는 외기면의 건조로 인하여 발생하는 자기수축균열은 재령에 따라 점점 균열의 폭이 증가하여 최종적으로 구조결함을 유발한다. 이러한 수축균열을 제어하기 위해 콘크리트에 혼화재료인 폴리머분말을 첨가하여 그 효과를 제시하고자 하였다.

2. 콘크리트 수축의 종류 및 특성

2.1. 콘크리트의 수축개요

콘크리트 구조물은 사용기간 중 하중에 의한 변형 이외에도 타설 직후 콘크리트 내부에서의 수화반응, 내외

부의 상대습도 및 온도 차이 등으로 인하여 체적이 변화한다. 이러한 체적변화는 매우 복잡하며 각기 서로 다른 형태의 수축현상이 조합되어 나타난다(이광명, 2006). 일반적으로 외력에 의한 체적변화가 아닌 경우 콘크리트의 전체 수축은 작용메커니즘에 따라 온도수축, 자기수축, 건조수축, 중성화수축 등으로 분류할 수 있다(김기현, 2006).

특히 수분관련 수축현상은 수분의 외부 이동에 의한 건조수축과 내부소모에 의한 자기수축으로 나눌 수 있다. 두 가지 수축 모두 시멘트페이스트 내의 수분변화에 따른 체적변화로서 기존 콘크리트는 건조수축, 고성능 콘크리트에서는 초기재령 자기수축이 지배적인 수축인자로 알려져 있다(이창수, 2006). 콘크리트의 건조수축은 외부환경 조건인 온도 및 습도에 의해 시멘트 경화체 중의 수분이 증발하면서 발생되며, 이러한 수축의 상당 부분은 재습윤 되어도 원상태로 돌아오지 않는 것으로 알려져 있다(김기현, 2006).

또한 자기수축은 외부와의 수분이동이 차단되고 시멘트수화와 자체 건조에 따른 겉보기 수축현상으로 보통 콘크리트에서는 건조수축에 비하여 10% 정도로 매우 작아 균열제어 및 설계에서 고려되는 일이 없으나, 고강도 및 고유동 콘크리트와 같은 고성능 콘크리트에서는 자기수축만으로도 균열이 발생하는 일이 지적되고 있다(한천구, 2003). 이러한 자기수축은 고성능 콘크리트가 적용되는 바닥판콘크리트 등에서 초기균열의 원인으로 알려져 있으나 초기재령 시멘트 수화물의 복잡성으로 인하여 완전한 수축 메커니즘은 정립되어 있지 않다. 중성화에 의한 수축은 시멘트 경화체 중의 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 공기 중 CO_2 의 반응에 의하여 생성된 수분의 증발에 의하여 발생한다(Mindes, 1981).

2.2. 콘크리트 균열의 원인

콘크리트의 균열 시기는 구조물에 작용하는 주응력이 콘크리트의 허용인장강도를 초과하는 순간 발생한다. 즉, 콘크리트 구조물에 어떠한 형태의 하중이 작용하더라도 균열은 콘크리트 부재의 인장변형도에 의해서 발생하므로 인장응력이 콘크리트의 인장강도를 초과하지 않도록 재료선정, 배합설계, 현장시공 및 품질관리를 하는 것이 중요하다. 콘크리트 구조물에 발생하는 균열의 원인은 매우 다양하다. 즉, 설계 조건, 재료 조건, 시공 조건, 콘크리트의 열화, 준공 후의 외력과 환경 조건 등 여러 가지 원인에 의해서 발생한다. 또한 이러한 원인들은 개별적인 원인으로 작용하기도 하지만, 여러 원인이

복합적으로 작용하여 균열이 발생한다(윤상혁, 2016).

2.3. 콘크리트 자기수축균열저감 제어 방법

물-시멘트비가 높은 콘크리트에서의 자기수축은 매우 작아 체적변화에 무시가 되어도 큰 문제가 없었지만, 물-시멘트비가 낮은 고강도콘크리트에서는 무시할 수 없을 정도로 컸고, 이런 고강도콘크리트를 사용한 설계 및 시공에 반영하기 위해서는 자기수축을 정량적으로 평가할 수 있는 모델이 필요하다.

대체적으로, 자기수축은 외부로부터 수분의 공급이 없기 때문에 시멘트의 수화반응에 의해 내부가 건조해지므로, 수화열이 낮은 시멘트를 사용한다. 가장 중요한 재료는 골재인데, 골재는 직사광선에 노출이 되지 않도록 하고 살수를 하며 입도가 좋은 양질의 골재를 사용하여야 한다. 팽창 이후 수축을 할 때 수축을 잡아줄 수 있는 혼화재료를 추가하는 것 또한 매우 효과적인 방법이다.

3. 실험계획 및 방법

3.1. 실험계획

본 연구에서는 기본적인 평가항목으로 굳기 전 특성인 슬럼프, 공기량시험과 기초물성 시험을 실시하고, 굳은 후에는 정적강도시험과 내구성시험인 표면박리시험, 염소이온 침투 저항성시험을 진행하며, 균열평가를 위한 LVDT를 활용한 자기수축시험으로 길이변화량을 평가하였다.

3.2. 배합설계

실험 변수로는 물-시멘트비 42%, 잔골재율 40%로 고정을 하였고, 단위시멘트량은 330kg/m^3 으로 정하였다. 혼화재료인 실리카폼과 폴리머 분말은 추가혼입을 하였고, 실리카폼은 7%, 11%에서 폴리머분말을 실리카폼변수 혼입율에 각각 0%, 3%, 11%로 첨가하여 OPC 포함 총 7변수실험을 진행하여 최적의 혼입율을 도출하고자 하였다. 또한, 혼화재료인 실리카폼과 폴리머는 후 첨가를 하고 고분말도이기 때문에 기포를 첨가하여 충분한 믹싱타임을 가지고 기포가 사라지기 전까지 배합을 진행하였다. 이후 최종적으로 스프레이를 한 후 슛크리트를 생산하였고 이에 대한 내구성시험을 진행하였다. 셀룰러 스프레이 콘크리트 배합표는 Table 1과 같다.

Table 1. Mix Design of Cellular Sprayed Concrete

Type	Gmax (mm)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)				After mixing (kg/m ³)	
				W	C	S	G	Silica fume	Polymer powder
OPC	25	42	40	139	330	756	1216	-	-
SF7 PP0								23	-
SF7 PP3									9.9
SF7 PP11									36.3
SF11 PP0								36	-
SF11 PP3									9.9
SF11 PP11									36.3

3.3. 자기수축 평가

3.3.1. 시험편 제작

자기수축 실험은 0.001mm 감도를 가진 10mm LVDT를 사용하여 길이변화를 측정하는 방법을 사용하였다. 이 실험법의 장점은 콘크리트 타설 직후 10mm LVDT를 통해 획득한 길이변화량이 데이터로거에 직접 전송된다는데 있다. 또한 폴리에틸렌 형틀과 콘크리트 시편과의 분리를 위해 형틀 내부는 테프론 시트로 1차 마무리를 하고, 콘크리트용 박리제로 2차 처리한 후 콘크리트 타설이 진행되기 때문에, 옆면과 형틀바닥으로부터의 마찰영향을 최소화할 수 있어 상당히 정밀한 데이터를 획득할 수 있다. 또한 스티로폼은 몰드 양 측면에 부착되어 열팽창과 자기팽창의 영향을 평가하게 하며 팽창하중을 제어하는 역할을 한다.

외부로부터 수분증발을 억제하기 위해 콘크리트 타설 후 즉시 비닐시트로 도포한 후 은박시트로 2차 마무리를 하였다. 이렇게 최종적으로 플라스틱 캡을 씌우고 절연테이프로 밀봉하여 시편준비 작업을 마무리하였다. 즉, 콘크리트 타설 후 후처리과정이 전혀 필요치 않으므로 기계적인 오차(LVDT오차)를 제외한다면 오차발생 요인은 거의 발생하지 않는 실험법이다.

3.3.2. 실험 및 측정

실험데이터는 7일 동안 측정하였고, 데이터의 빈도수는 30초에 한 번씩 측정하여 총 20,000여개의 데이터를 획득하였다. 그리고 초기의 수축 및 팽창특성을 평가하기 위해 형틀 내부에 스티로폼 틀을 제작하였고, 수분

을 흡수하지 못하도록 비닐시트처리를 하였다. 또한, 추가로 상부에 캡(Cap)을 씌워 수분이 증발하지 못하게 하였고, 절연테이프를 형틀외부에 밀봉하였다. Fig. 1은 항온항습실 온도 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $50\pm 5\%$ 에서 자기수축을 측정하는 실험전경을 나타낸 모습이다.

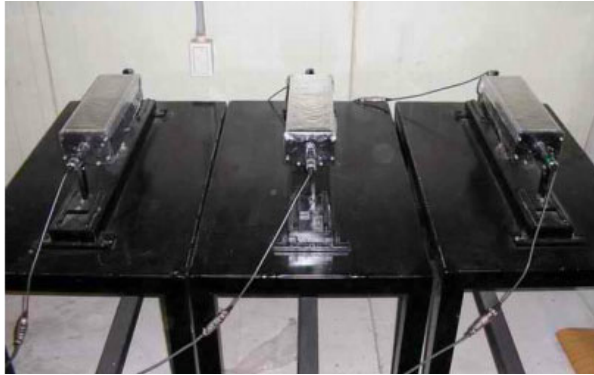


Fig. 1 Auto Shrinkage Test

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 콘크리트 굳기 전 물성

강제식 배합에서 실리카폼 7, 11%변수와 폴리머3, 11%변수를 각각의 배합설계에 맞게 혼입한 후 기포를 첨가하였다. 이때 기포의 양은 변수 별 육안으로 판단과 슬럼프실험을 진행한 후 20%~35%로 설정하여 실험이 진행되었다. 기포는 40% 근처가 되었을 때 믹싱이 진행될 때 재료가 분리되어지는 현상이 발생하기 때문에 기포는 35%로 정하였다. 또한 비교변수로 OPC 변수가 함께 진행되었고, 강제식 배합에서 기포가 첨가되었을 때 공기량이 20%를 넘어 공기량시험은 스프레이 이후에 진행하였다.

4.2. 압축강도 및 휨강도 시험결과

4.2.1. 압축강도

압축강도는 KS F 2405 규정을 준수하여 재령 28일, 56일에 측정을 실시하였다. 혼화재료의 혼입과 스프레이 공정을 통하여 압축강도가 높게 측정이 되었다. Fig. 2는 각 변수별 재령 28일, 56일의 압축강도를 나타낸 것이다. 재령 28일에서 실리카폼 11% 변수가 가장 높은 압축강도 44.8MPa로 나타났으며, 실리카폼 11% 폴리머분말 11%를 혼입한 콘크리트는 차이가 미비하게 나타났다. 이는 폴리머분말이 압축강도에 큰 영향을 주지 않는다는 결과로 판단을 하였다. 압축강도 결과만으로 판단하였을 때, 기포를 첨가하여 스프레이를 진행하여도 강도측면에서 영향이 없다는 것을 알 수 있었다. 스프레이가 진행된

모든 변수에서 2층 콘크리트포장의 상부층에 사용될 수 있을 만큼 값이 크게 나왔음을 알 수 있었다.

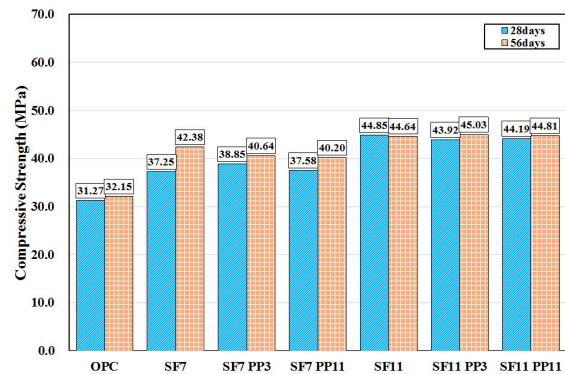


Fig. 2 Compressive Strength Test Result

4.2.2. 휨강도

휨강도는 KS F 2048 규정을 준수하여 재령 28일, 56일 측정을 실시하였다. Fig. 3은 재령 28일, 56일의 휨강도 결과이며, 재령 28일에서 최대 휨강도는 실리카폼 11%, 폴리머분말 11% 변수에서 7.13MPa로 가장 높게 측정이 되었고, OPC는 가장 낮은 5.83MPa로 실리카폼 11%, 폴리머분말 11%를 혼입한 콘크리트 휨강도와 1.3MPa의 강도차이가 측정이 되었다. 이는 폴리머 분말이 휨강도에 영향을 미치는 것으로 확인이 되며, 실리카폼 7% 변수와 실리카폼 11% 변수에서 폴리머를 혼입하였을 때 차이가 미비하여 추가적인 혼입량이 높아진다 해도 큰 효과를 얻지 못할 것으로 판단된다.

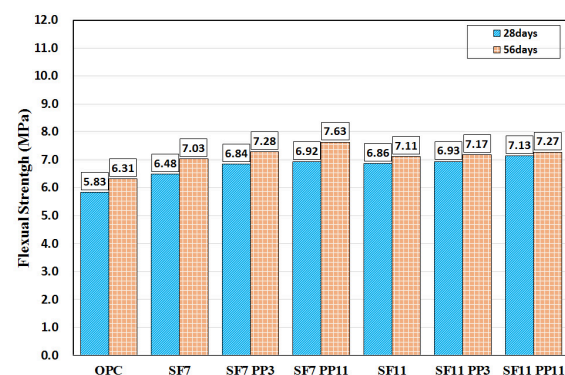


Fig. 3 Flexural Strength Test Result

4.3. 자기수축시험 결과

4.3.1. 응결 시험결과

콘크리트의 자기수축은 초결 이후에 발생하는 수축량을 의미하는데 시멘트와 물이 수화반응을 일으킬 때 결합 전에 비해 결합한 후 부피가 줄어든다. 초결 전 화학적 수축이 발생하고 그 후 초결 이후 자기수축이 발생하

기 때문에 자기수축 시험 전 응결시험을 통해 초결이 일어난 후에 자기수축을 시험하였다.

Fig. 4와 Table 2는 폴리머분말과 실리카폼 혼입율 변화에 따른 응결곡선 시험을 진행하여 초결(3.5 Mpa) 시간을 표기하였다. 폴리머 분말이 증가할수록 응결시간이 지연되는 것을 확인할 수 있었고, 실리카폼만 첨가한 변수는 일찍 초결이 발생하였다.

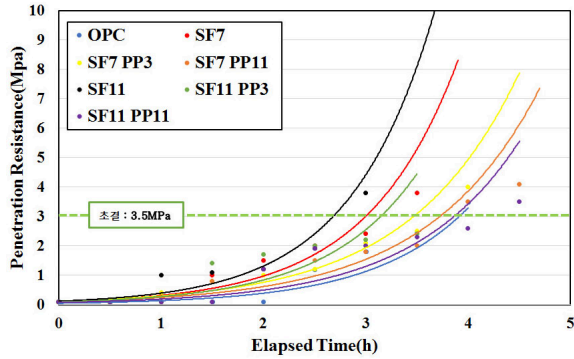


Fig. 4 Characteristics of Concrete Condensation According to the Mixing Amount of Material Content

Table 2. Initial Set by Type

Type	Time (min)	Exponent
OPC	230	$Y = 0.1158e^{1.213X}$ $R^2 = 0.8549$
SF7	200	$Y = 0.1013e^{1.1298X}$ $R^2 = 0.9265$
SF7 PP3	230	$Y = 0.1159e^{0.9378X}$ $R^2 = 0.9334$
SF7 PP11	250	$Y = 0.0972e^{0.9205X}$ $R^2 = 0.8798$
SF11	190	$Y = 0.1158e^{1.213X}$ $R^2 = 0.8549$
SF11 PP3	210	$Y = 0.0895e^{1.1163X}$ $R^2 = 0.7942$
SF11 PP11	270	$Y = 0.0453e^{1.0715X}$ $R^2 = 0.815$

4.3.2. 초기수축거동 시험결과

Fig. 5는 공시체 타설 직후 초기변위측정결과(종합)를 나타낸 그림이다. 실리카폼 7%와 11%를 혼입하였을 때 팽창은 적게 발생하는 것으로 나타났으며, 가장 빠른 시기에 수축이 시작하는 것으로 나타났다. 또한 가장 높은 수축거동이 보이는데 이는 실리카폼이 콘크리트 내부에서 콘크리트의 배합수를 급격하게 흡수하여 초기수축거동이 급격하게 증가한 결과로 판단되어진다.

연구석(2006)은 분마수지 폴리머를 0~15% 혼입한 콘크리트가 OPC변수에 비해 0에서 최대 33%까지 건조수축을 감소한다고 발표하였다. 본 시험결과에서도 초결 이후 비교변수 중 폴리머를 혼입한 콘크리트는 실리카폼만 혼입한 콘크리트보다 늦은 시간까지 팽창거동을 하였고, 더 좋은 수축거동을 보이게 되는데 이는 모르타르 내부의 수분과 공극구조에 큰 영향을 받기 때문이다. 따라서 폴리머를 혼입함으로써 수분방출이 억제되어 수화반응으로 인해 발생하는 건조를 방지하는 동시에 시멘트입자의 지속적인 수화반응을 저감할 수 있기 때문이다.

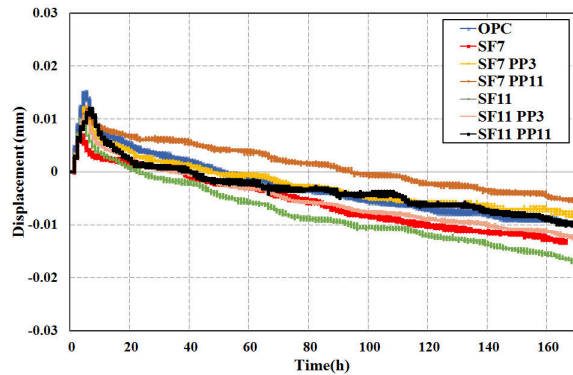


Fig. 5 Results of Initial Displacement Measurement Immediately After Casting

4.3.3. 자기수축 평가결과

다음 Fig. 6~7은 OPC변수와 SF7 폴리머분말 0, 3, 11% 변수, OPC변수 실리카폼 11%, 폴리머분말 0, 3, 11% 변수의 그래프이고, Table 3은 최대자기수축을 나타냈다. 종합적으로 판단하였을 때 실리카폼 7%, 폴리머분말 3, 11%변수에서 가장 적은 자기수축이 나타났고, 폴리머분말 3%만을 첨가하여도 큰 차이가 없기 때문에 자기수축시험에서는 최적의 배합이라 판단되어진다. 단, 과도하게 팽창이 발생할 경우 콘크리트의 성능을 저하시킬 수 있으며, 특히 더운 날씨에 적용될 경우 팽창량이 크게 발생하여 균열이 일어날 가능성이 있다.

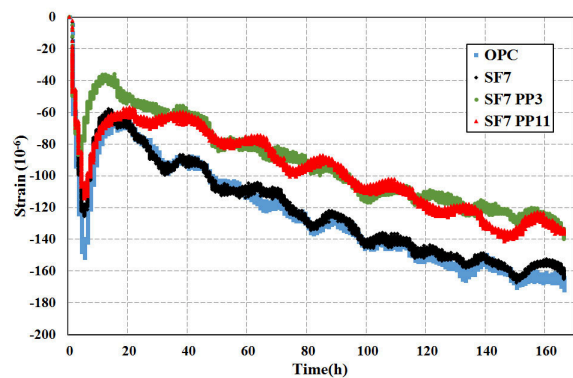


Fig. 6 Comparison of Auto Shrinkage according by Mixing Amount of Polymer Powder (SF=7%)

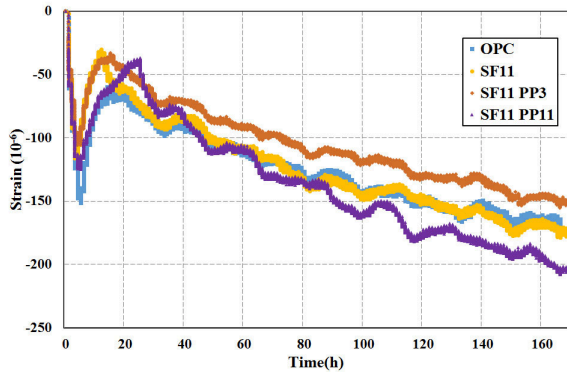


Fig. 7 Comparison of Auto Shrinkage according by Mixing Amount of Polymer Powder (SF=11%)

Table 3. Maximum Auto Shrinkage by Type

	OPC	SF7	SF7 PP3	SF7 PP11	SF11	SF11 PP3	SF11 PP11
Maximum autogenous shrinkage ($\mu\epsilon$)	-168	-163	-135	-134	-180	-151	-202

4.4. 내구성 시험결과

4.4.1. 투수저항성

투수저항성 시험은 염소이온 침투 저항성 시험으로 측정하였다. 염소이온 침투 저항성 시험은 KS F 2711에 준하여 진행하였다. 재령 28일에 시험을 진행하였으며, $\phi 100 \times 200$ 공시체를 상, 하 2개로 컷팅하여 변수당 2개씩 실험을 진행하였다. 재령 28일의 경우 4변수에서 각각 1453 Coulomb, 1418 Coulomb, 1694 Coulomb, 1111 Coulomb로 측정되어 “낮음” 등급을 나타내는 것으로 확인할 수 있었다. 혼화재의 혼입량이 증가할수록 통과전하량이 낮아지는 경향이 나타났으며, 실리카폼 7%, 폴리머 3%변수와 실리카폼 7%, 폴리머 11%변수, 실리카폼 11%, 폴리머 11%변수에서 통과전하량의 차이가 미비하여 실리카폼 7%, 폴리머 3%변수가 최적배합에 적합하다고 판단된다. Fig. 8은 재령 28일

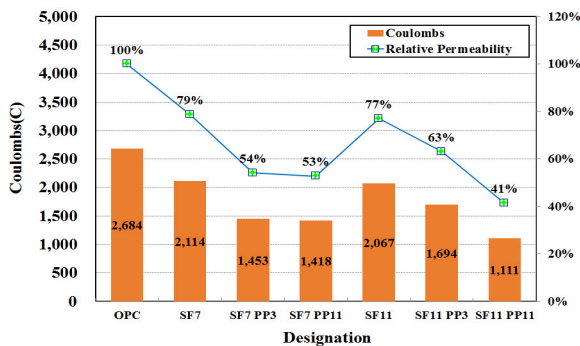


Fig. 8 RCPT Test Results

의 염소이온침투 저항성 측정결과를 나타내고 있다.

4.4.2. 표면박리 저항성

본 연구에서는 ASTM C 672 규정에 준수하여 직사각형 공시체 $200 \times 250 \times 100$ mm를 제작하고 염화칼슘 용액을 4% 사용하여 시험을 진행하였으며, 재령 28일이 되는 날부터 시험을 진행하여 총 50사이클 동안 시험을 실시하였다. 시험결과는 기준인 “적정(Acceptable)” 등급을 모두 만족하였다. 다음 Fig. 9는 최종 표면박리 시험의 박리량을 나타낸 것이다.

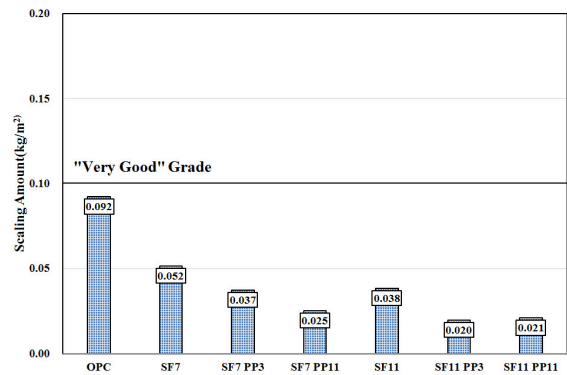


Fig. 9 Scaling Test Result

5. 결론

본 연구에서는 콘크리트 구조물에서 초기재령에 있어 수축균열을 제어하기 위해 자기수축 실험을 수행하였고, 혼화재료를 혼입한 스프레이 콘크리트 균열특성을 비교·분석하였으며 내구성을 확인하였다. 결과적으로 배합설계를 통해 수축 및 경제성을 고려한 최적배합을 도출하였고, 2층 콘크리트 포장 상부층에 경제성과 기능성, 내구성을 증진시킬 수 있을 것으로 판단된다.

5.1. 내구특성 분석결과

1. 국내의 고강도 콘크리트는 콘크리트 시방서에서 제시하고 있는 40MPa이다. 압축강도 실험 결과 재령 28일에서 고강도 콘크리트의 압축강도 기준인 40MPa을 실리카폼 11%를 혼입한 모든 변수에서 폴리머의 혼입량과 관계없이 만족을 하였고, 실리카폼 7%와 폴리머분말을 변수별로 혼입한 스프레이 콘크리트에서 40MPa에 조금 못미치는 38MPa이 나타났다. 휨강도의 경우 재령 28일에 포장용 기준보다 월등히 높은 7MPa에 가까운 강도를 발현하였다.

2. 염소이온 침투 저항성 시험의 경우 재령 56일에

1000C~2000C(“낮음”) 등급이 나타났는데 이는 매우 낮은 단위시멘트량을 사용하여 충분한 수밀성을 확보하지 못한 결과로 판단된다. 표면박리 시험결과 기준인 “적정(Acceptable)” 등급 (박리량 1kg/m²이하)를 만족하는 것을 확인하였다.

3. 기포를 혼입한 셀룰러 스프레이 콘크리트가 기포를 넣지 않은 변수와 비교하여 모두 만족하는 내구성을 가진 것을 확인하였고, 이로 인해 기포를 넣고 스프레이를 진행하는 것이 내구성에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

5.2. 자기수축특성 분석결과

1. 초기수축거동시험에서는 폴리머분말 혼입율이 증가함에 따라 전체적인 수축량이 감소하는 경향으로 나타났다으며, 장기적인 측면에서 효과가 더 크게 나타날 것으로 판단된다. 반대로 실리카폼 혼입율이 증가함에 따라 수축량이 대폭 증가하는 경향을 확인할 수 있었다.
2. 또한 폴리머분말 11%를 첨가할 경우 과도한 팽창이 발생하여 오히려 콘크리트의 성능을 저하시킬 수도 있다고 판단된다.
3. 폴리머 분말을 첨가할 경우 전체적인 수축량이 감소하는 이유는 폴리머분말의 혼입에 따른 콘크리트의 초기 수밀성 확보로 증발수량이 감소하기 때문으로 판단된다.
4. 자기수축시험 결과 실리카폼 7%와 폴리머분말 3, 11%를 함께 혼입한 변수에서 가장 적은 자기수축이 나타났고, 폴리머분말 3%만을 첨가하여도 차이가 미비하기 때문에 자기수축시험에서는 최적의 배합이라 판단되어진다. 단, 과도하게 팽창이 발생할 경우 콘크리트의 성능을 저하시킬 수 있다.

5.3. 종합결론

1. 본 연구에서 배합결과를 종합적으로 검토한 결과, 내구특성은 고강도 콘크리트의 기준을 일부만족을 시키지는 못하였다.
2. 자기수축시험에서 나타난 결과와 마찬가지로 폴리머를 혼입한 콘크리트는 실리카폼으로 인해 발생하는 초기수축량을 감소시킬 수 있으며, 초기균열발생 역

제를 통해 장기적으로 균열에 대한 저항성이 높아질 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원의 교통물류사업인 “온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로 연구”의 연구지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- ASTM C 672 (2003). *Standard test method for scaling resistance of concrete surfaces exposed to deicing chemicals*, American Society of Testing Materials.
- Beltaos, S. (1974). *Turbulent impinging jets*, Ph.D. Dissertation, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.
- Choi, H. (2009). *A Study on the Development of Plat-Ring Type Restrained Test Method and Performance Evaluation for Evaluating Shrinkage Cracking Properties of Concrete in Early Age*, master thesis, Chungnam National University, Korea.
- Han, C. (2003). Influences of Mixing Factors on Drying Shrinkage of the Concrete, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol.19, No.2, February.
- Kim, K. (2006). *Causes and Prevention of Bridge Deck Overlay Cracking in VES-LMC*, Ph.D thesis, Kangwon National University, Korea.
- KS F 2405 (2010). *Standard test method for compressive strength of concrete*, Korean Standard Association.
- KS F 2408 (2010). *Method of test for flexural strength of concrete*, Korean Standard Association.
- KS F 2711 (2007). *Testing method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration*, Korean Standard Association.
- Lee, C. (2006). Autogenous Shrinkage of Cement Paste Considering Disjoining Pressure in Thin Adsorbed Region, *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.18, No.2, pp.213-218, April.
- Lee, K. (2006). Influence of Curing Conditions on Volumetric Changes in Concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 18, No.3, PP. 331-338, June.
- Mindess, S. Young, J. F.(1981), *Concrete*, pp.485-500.
- Yeon, K. (2006). Drying Shrinkage and Strength Properties of Polymer-Modified Mortars Using Redispersible Polymer Powder, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, pp. 51-60, Jan.
- Yoon, S. (2016). *Shrinkage and Crack Reduction Characteristics of Blast Furnace Slag Concrete mixed Expansive and Swelling Agents*, master thesis, Dankook University, Korea.