



시멘트콘크리트 포장의 고강도 고내구성을 위한 기초 연구 : Part I 최적배합에 관한 연구

Fundamental Study on High Strength and High Durability Cement Concrete Pavement : Part I Optimum Mix Proportions

윤 경 구* 박 철 우**
Yun, Kyong-Ku Park, Cheol woo

Abstract

Cement concrete pavement has become more common in Korean highway systems. However, as its service period increases, there are some technical problems occurs and no clear solution is available primarily due to the lack of active researches. This research, hence, aims to develop a new mix proportion that may provide better strength and durability with extended service life. Based on a variety of literature reviews, the experimental variables were determined as unit cement content, S/a ratio and W/C ratio. From the experimental works, it is recommended to increase the unit cement content up to 375kg/m³, 400kg/m³ and 425kg/m³. The target slump and air content were set 40mm and 5%, respectively. The maximum size of coarse aggregate was decided to be 25mm because of the easiness of supply in the field. The reduction of W/C ratio was necessarily required and decreased to 0.4 which was proven not to cause any mixing problem with the increased unit cement contents along with polycarbon-based high range water reducing agent. In addition, it was known that the S/a ratio could be reduced to 0.34. The lowered S/a might be possible because of the increased cement paste and hence increased cohesiveness and workability.

Keywords : cement concrete pavement, high strength, high durability, optimum mix, european pavement mix

요 지

국내에서 시멘트콘크리트 포장이 차지하는 비율이 증가하는 수준에 비하여 이의 기술적인 발전은 상대적으로 뒤쳐져 있다고 할 수 있다. 또한, 사용기간의 증가와 함께 여러 가지 기술적인 문제점도 부각되고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 외국의 콘크리트포장 배합의 특성을 분석하고 이를 기초로 한국의 실정에 부합하는 장수명의 고강도 고내구성의 콘크리트 포장의 최적배합을 도출하고자 하였다. 단위시멘트량, 잔골재율(S/a), 그리고 물-시멘트(W/C)비 등을 변수로 하여 배합에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 장기적인 공용수명을 확보하고 고강도 고내구성의 포장을 위하여 우선적으로 단위시멘트량을 375kg/m³, 400kg/m³, 425kg/m³ 수준으로 증가시킬 것을 권장한다. 또한, 최적배합표는 포장타설 장비를 활용하여 포설하므로 슬럼프 40mm로 결정하였고, 동결융해 방지를 위하여 공기량을 5%로 결정하였다. 또한 시공 시 재료 수급의 원활

* 정회원 · 강원대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail : kkyun@kangwon.ac.kr)

** 정회원 · 강원대학교 건설공학부 토목공학전공(E-mail : tigerpark@kangwon.ac.kr)



함을 위하여 굵은골재 최대 치수를 25mm로 결정하였다. 도로의 장수명을 위한 고강도 배합을 위해 낮은 W/C비와 단위시멘트량의 증가가 요구되는데, 예비실험 결과 공기연행제와 폴리카본산고성능 AE감수제를 사용하여 W/C비를 0.4까지 낮추어도 증가된 단위시멘트량에 대하여 충분히 목표 슬럼프를 가지는 배합이 가능한 것으로 나타났다. 예비 실험 결과 S/a를 0.34까지 낮추어도 골재의 분리 등 문제를 보이지 않고 충분히 배합이 가능하였으며, 이는 단위 시멘트페이스트 양의 증가로 인한 점착력 증가와 위커빌리티의 향상에 의한 것으로 판단된다.

핵심용어 : 시멘트콘크리트 포장, 고강도, 고내구성, 최적배합, 유럽형포장

1. 서론

현재 국내 고속국도에서 시멘트콘크리트 포장이 차지하는 비율은 약 60% 정도 증가하였다. 하지만, 시멘트콘크리트 포장의 공정 특성상 많은 부분이 장비에 대한 의존성이 높기 때문에 그 동안 장비의 성능향상으로 인하여 시공기술은 높아 졌으나 품질관리 및 콘크리트 포장의 특성을 분석하기 위한 연구가 원활하게 수행되지 못함으로 인해 최근 콘크리트 포장에서는 많은 문제점들이 부각되고 있는 실정이다(강재수, 1998)(건설교통부, 2008). 최근에 발생되고 있는 콘크리트 포장의 문제점으로는 사용재료의 저급화로 인한 파손발생, 건설된 후 조기파손문제, 노후된 콘크리트 포장의 보수방법 선택의 부족 등을 포함할 수 있다. 이러한 문제점들로 인해 콘크리트 포장의 장기적인 공용수명을 제공하는데 한계가 나타나고 있으며, 많은 유지관리비용이 투입되고 있는 실정이다.

이러한 문제점들을 극복하기 위하여 외국 각국에서는 콘크리트 포장의 성능 향상을 위하여 다양한 형태의 연구를 진행 중에 있다. 유럽에서는 1980년대부터 40~60년의 장수명을 바탕으로 한 도로포장의 설계 및 시공이 이루어졌다. 특히 고강도의 포장개발 뿐만 아니라 장기공용성을 제공하며 동시에 우수한 시공성을 제공하는 고성능의 시멘트콘크리트 포장의 개발에 많은 노력을 경주하여 왔다. 예를 들어서 2층 포설기법 및 섬유보강 콘크리트의 사용 등을 통한 고강도 고성능 콘크리트 포장의 시공이 한 예가 될 수 있다. 또한, 변단면 두께 도입 및 슬래브 확폭,

주행차선에 다웰바 집중적인 배치, 배수성 포장 및 배수성 보조기층 도입 등 효율적인 포장체의 단면설계 및 기능성 포장 등도 시멘트콘크리트 포장 기술발전의 실례라 할 수 있다. 대표적으로 벨기에의 경우, 콘크리트 포장에서 고강도 콘크리트 배합을 일반적으로 사용하고 있으며, 90일 최소압축강도는 55MPa이며, 평균 압축강도는 70MPa를 사용하고 있다. 일반적인 휨 강도는 평균적으로 7.5MPa를 사용하는 경우도 있으며, 물-시멘트 또는 물-시멘트계재료(W/C) 비는 0.40-0.45를 사용하고 있다. 이러한 시멘트콘크리트 포장의 경우, 사용에 따른 내구성에 관한 결함은 최근까지 거의 관측되지 않고 있으며, 줄눈부에서 스포링 결함도 발견되지 않고 있다. 이처럼 벨기에의 포장 성능이 좋은 것은 단위시멘트량이 높은 고강도 콘크리트의 특성을 잘 활용한 것으로 판단된다. 아울러 벨기에에서는 양질의 양생제(약 200g/m²)를 살포하여 품질관리에 만전을 기하는 것이 고내구성 포장제품 확보에 일조하고 있다고 판단된다(건설교통부, 2005).

이러한 고성능 콘크리트 포장의 발전은 정부와 산업계 및 학계의 지속적인 연구 등의 협력이 절실히 요구되는 사항이라 할 수 있다. 콘크리트 포장의 장수명화를 위한 첫 번째 단계로서는 고강도 고내구성의 콘크리트 포장을 위한 배합의 최적화 작업이 우선적으로 수행되어야 할 것으로 사료되며, 이 연구에서는 국내의 실정에 부합하는 고강도 고내구성의 장수명 유럽형 포장용 시멘트콘크리트를 개발하기 위하여 배합설계 방향의 개선방법을 논하고 최적배합의 도출을 목표로 한다.



2. 국내 포장용 콘크리트 배합설계의 분석

고강도 고내구성의 시멘트콘크리트 포장의 개발을 위한 기초연구로서 국내에 사용된 포장용 콘크리트의 배합의 사례를 분석하였다. 표 1은 한국도로공사에서 제시하는 건설공사 품질시험편람의 콘크리트 포장의 배합이다.

표 1. 도로공사 시방배합-건설공사 품질시험편람 1994

28일 강도 (MPa)	D _{max} (mm)	Slump (mm)	Air (%)	W/C	S/a	단위함량 (kg/m ³)					AEA (cc)	비고
						W	C	F.A.	C.A. 40-19	C.A. 19		
4.5	40	40	4.0-6.0	0.44	0.33	147	334	599	611	636	668	1993년
4.5	32	40	3-6	0.45	0.38	151	336	678	569	592.5	504	1998년

한편 국내의 대표적인 콘크리트 포장 고속도로인 중부고속도로에 사용된 콘크리트 배합은 일반시멘트를 사용한 경우와 중용열시멘트를 사용한 경우로 크게 분류된다(이길용:1991)(한국도로공사, 1988). 1987년 중부고속도로 포장용 콘크리트 배합설계기준은 최소 단위시멘트량이 280kg/m³이며 단위수량은 150kg/m³, 슬럼프 40mm 이하, 휨강도 4.5MPa, 공기량 4±1%, 침하도 15~20초 그리고 굵은골재최대치수가 32mm이었다. 다음의 표 2와 3은 중부고속도로와 제2중부고속도로의 구간별 콘크리트 포장 배합설계의 예를 나타내고 있다(한국도로공사, 2008).

표 2. 중부고속도로 포장용 중용열 콘크리트 공구별 배합설계

Work Location	W/C	굵은골재 단위용적	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	F.A. (kg/m ³)	C.A. (kg/m ³)	AEA (g)
1	0.424	0.78	156	368	588	1255	츠폴 AE 110
2	0.424	0.75	156	368	588	1255	츠폴 AE 110
3	0.432	0.74	160	370	684	1151	안암 SR-AE 55
4	0.45	0.71	161	358	700	1131	EDOCO-A2002 72

〈표 계속〉

Work Location	W/C	굵은골재 단위용적	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	F.A. (kg/m ³)	C.A. (kg/m ³)	AEA (g)
5	0.425	0.72	154	362	695	1136	EDOCO-A2002 217
6	0.42	0.74	152	362	567	1272	SIKA 145
7	0.444	0.71	155	349	618	1214	하이놀 70
8	0.47	0.72	168	357	603	1209	SIKA 214
9	0.47	0.70	170	362	644	1154	EDOCO-A2002 72
10	0.46	0.72	168	365	596	1216	SIKA 146
Average	0.441	0.73	160	362	628	1199	

표 3. 제2중부고속도로 포장용 콘크리트 공구별 배합설계 예

Work Location	W/C	S/a	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	F.A. (kg/m ³)	C.A. (kg/m ³)	AEA (g)
Design Mix	0.45	0.38	151	336	678	1162	1035
1	0.444	0.39	150	337	708	1146	1011
2	0.462	0.45	151	334	692	1169	1000
3	0.44	0.39	149	339	715	1154	1017
4	0.455	0.41	155	337	740	1094	1008
Average	0.45	0.41	151	337	714	1141	1109

위의 표 2 및 3으로부터 콘크리트의 성능에 중요한 영향을 미치는 요소들을 단위시멘트량 및 W/C비의 개별적인 변수들에 대하여 분석을 실시한 결과 다음과 같은 사실을 알 수 있었다. 표 2의 중부고속도로의 경우 준공된 연도가 1987년임을 고려할 때 단위시멘트량이 당시의 기준값인 280kg/m³과 표 1의 기준값을 충분히 상회하는 높은 값을 사용하였다. 또한 고속도로포장의 두께로 인하여 발생하는 수화열과 이로 인한 양생초기의 온도균열을 제어할 목적으로 중용열시멘트를 사용하였다. 이러한 사항들은 중부고속도로가 현재까지 국내의 시멘트콘크리트 포장의 대표적인 성공사례가 되는 중요한 이유로 사료된다. 단위시멘트량은 중부고속도로에서는 349~370kg/m³을 사용하였고, 제2중부고속도로에서는 334~339kg/m³을 사용하였다. 두 고속도로의 준공



시점은 각각 1987년도 및 2001년이며 단위시멘트량은 감소한 것으로 나타났다. 또한 콘크리트의 성능에 영향을 미치는 가장 중요한 변수중 하나인 W/C비가 중부고속도로의 경우 0.42-0.47(평균 0.44), 제2중부고속도로의 경우 0.44-0.46(평균 0.45)를 사용하여 W/C비가 다소 증가한 것으로 분석되었다. 따라서 시멘트량은 감소하고 W/C비는 증가하여 장기적으로 콘크리트 포장의 성능에 불리하게 개정된 면이 있다. 두 고속도로에서 사용한 굵은골재의 최대치수는 32mm로서 동일하나 잔골재율(S/a)은 각각 0.32-0.38과 0.39-0.40을 사용하여 증가한 것으로 나타났다. 또한, 1993년도 도로공사의 품질시험편람에서는 40mm 최대골재에 대해 S/a를 0.33로 규정하며 1998년도 품질시험편람에서는 32mm 최대골재에 대해 S/a를 0.38로 제시하고 있다. 슬럼프값의 경우 각각 40mm 이하 및 30-50mm로 설정하여 크게 차이가 없었음을 알 수 있다.

3. 고강도 고내구성 콘크리트 포장 최적배합 개발

이 연구에서는 한국의 도로사용 환경을 고려한 고강도 고성능 콘크리트포장 배합의 개발을 위하여 다양한 변수에 대한 예비배합실험 등을 통하여 잠정적인 최적배합을 제시하고자 한다. 국내의 실정에 부합하는 고강도 고내구성 유럽형 포장용 콘크리트의 최적배합을 개발하는 목표를 설정함에 있어 기본이 되는 원칙을 다음과 같이 설정하였다. (1) 현장에서 쉽게 구할 수 있는 재료를 사용, (2) 경제성을 고려, (3) 시멘트는 수급상황 및 경제성을 고려하여 1종시멘트를 사용, (4) S/a는 0.38 또는 0.40 모두 무방하나 작업성과 내구성을 고려하여 0.38 사용, (5) 목표 슬럼프값은 40mm, (6) 공기량 5%, (7) 단위시멘트량을 고정하고 W/C비를 결정하되, 고성능감수제 표준권장량을 사용하는 범위에서 W/C비를 작게 하고, (8) 굵은골재 최대치수는 25mm로 하는 것

으로 설정하였다.

이러한 설정에 근거하여 최적배합을 도출하기 위하여 다양한 조건에 대한 반복실험을 통하여 W/C비와 S/a 등에 대한 최종 예상 배합을 선정하는 것으로 하였다. 유럽 등의 기술선진국의 포장용 콘크리트 배합설계를 분석하여 예상배합을 설계하고 이에 관한 배합실험을 1차 및 2차 배합실험으로 구분하여 실험하였다. 1차 배합실험에서는 W/C비와 S/a를 고정하고 시멘트량을 변수로 그 특성을 분석하였으며 2차 배합실험에서는 예상 배합량의 W/C비와 S/a를 조정하고 다른 업체에서 생산되는 혼화제를 고려하여 최적배합을 도출하고자 하였다.

3.1 1차 배합실험

1차 배합실험은 10th International Symposium on Concrete Roads의 자료에서 제시된 유럽의 콘크리트 배합을 분석하여 한국적 특성에 부합하는 고강도 고내구성 콘크리트 포장배합을 도출하고자 하였으며 특히, 벨기에의 각 지역에서 사용된 콘크리트 포장의 배합을 바탕으로 유럽 콘크리트 포장의 특성을 분석하고자 하였다. 표 4는 벨기에의 각 지역에서 사용된 고성능 콘크리트 포장의 배합설계의 예를 보여주고 있다.

이러한 포장배합을 참조하여 고성능 고강도 시멘트콘크리트 포장배합을 위한 1차 배합실험에서 사용하고자하는 배합기준은 다음과 같다. 배합은 도로포장 타설시 포장장비의 사용성을 고려하여 슬럼프 값을 40mm로 정하였으며, 공기량은 동결융해 방지를 위하여 한국도로공사 2005년 시멘트콘크리트 설계기준 배합표(개정)의 포장 배합과 동일한 5%로 잠정적으로 결정하였다. 굵은골재 최대치수는 기존의 설계기준의 경우 32mm와 25mm를 제시하고 있지만, 유럽의 경우 조사된 지역의 2/3가 20mm 이하 크기의 굵은골재를 사용하는 것을 알 수 있다. 또한 고강도 콘크리트의 경우 일반적으로 골재의 최대치수가 작아지는 점과 그 품질이 골재의 품질보다는 시



멘트 페이스트의 품질에 의해 좌우되므로 상대적으로 골재 수급이 용이한 25mm 골재를 최대치수로 결정하였다.

표 4. 벨기에에서 사용된 콘크리트 포장 배합의 분석

Location	Cement	Water	W/C	C.A.	F.A.	S/a
Brussels-6	400	180	0.45	1070	700	0.40
Flemish-Brabant-1	400	160	0.40	1235	595	0.33
Flemish-Brabant-3	425	180	0.42	995	700	0.42
Flemish-Brabant-5	425	185	0.44	1010	700	0.42
East Flanders-1	400	167	0.42	1130	690	0.39
East Flanders-3	400	167	0.42	1160	670	0.37
Liege Centre-3	400	175	0.44	1201	579	0.33
Liege West-5	400	180	0.45	1255	545	0.31
Hainaut-4	400	160	0.40	1115	640	0.37
Hainaut-7	425	185	0.44	1015	700	0.41
Hainaut-9	420	185	0.44	1245	550	0.31
AVERAGE	408.6	170.4	0.42	1130.1	642.6	0.37

S/a의 경우 국내 설계기준 포장 배합에서 제시하는 0.38은 벨기에의 고성능 시멘트콘크리트 포장배합의 분석에 따른 평균 S/a=0.37과 유사하므로 국내 기준과 동일한 0.38로 결정하는데 무리가 없을 것으로 판단되었으며, W/C비는 국내의 시멘트콘크리트 설계기준 배합표의 기준인 0.45와 시공지역에 따라 0.4~0.45정도의 배합을 나타낸 벨기에의 경우와 유사한 것으로 조사되었다. 또한 벨기에의 경우 단위 시멘트량이 400~425kg/m³가 사용되는 것으로 분석되었다.

따라서 1차 배합시험에서는 W/C비를 국내 설계기준 배합과 동일한 0.45로 결정하고 단위 시멘트량을 국내 도로포장 설계기준인 326kg/m³을 기준으로 하여 375kg/m³, 400kg/m³, 425kg/m³으로 변화시켜 콘크리트 내의 단위 페이스트량을 실험 변수로 하여 배합을 실시하여 각 변수에 대한 압축강도 및 휨강도를 포함하는 기초 물성 특성을 분석하였다. 이러한 사항들을 고려하여 1차 배합시험에서 사용한 최종 배합은 다음의 표 5와 같다.

표 5. 1차 예비시험 배합표

Mix	D _{max} (mm)	Slump(mm)	Air (%)	W/C	S/a	Unit Content(kg/m ³)			
						W	C	F.A.	C.A.
C-326	25	40	5±1	0.45	0.38	147	326	692	1197
C-375						169	375	654	1133
C-400						180	400	636	1100
C-425						191	425	616	1068

* 2005년 한국도로공사 설계기준 배합표 포장 배합

배합시험에 사용된 시멘트는 국내 S사에서 시판되는 1종 보통 포틀랜드시멘트 제품을 사용하였으며, 물리적 특성은 표 6과 같다. 골재는 최대치수 25mm의 굵은골재와 잔골재로 분류되며 각각 골재의 물리적인 특성은 표 7과 같으며, 체가름 시험결과는 각각 그림 1과 그림 2와 같다.

표 6. 시멘트의 물리적 성질

Time of Setting		Compressive Strength (MPa)			Blaine (cm ² /g)	Autoclave Expansion (%)	Ig. loss (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Specific Gravity
T1 (m)	T2 (m)	3 day	7 day	28 day						
250	390	20	30	38	3,379	0.06	1.5	2.7	1.7	3.14

표 7. 굵은골재 및 잔골재의 물리적 성질

Aggregate	D _{max}	S.G. at SSD	S.G. at Air Dry	True S.G.	Absorption
Coarse Aggregate	25mm	2.62	2.61	2.65	0.51
Fine Aggregate	< 5mm	2.58	2.54	2.66	1.85

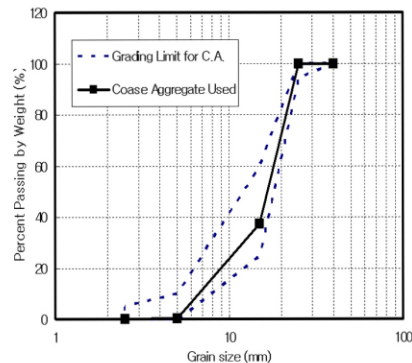


그림 1. 굵은골재의 입도분포 곡선

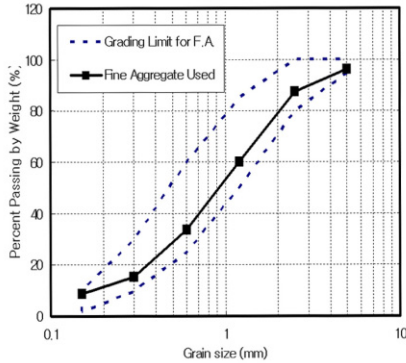


그림 2. 잔골재의 입도분포 곡선

3.2 1차 배합실험 및 결과

표 8은 1차 예비배합표에 따른 배합을 수행한 결과 목표슬럼프와 목표공기량을 고려하여 여러 번의 반복실험을 통하여 혼화제의 사용량을 최적화한 배합표이다. 결과로부터 공기량은 예상목표치인 5% 전후로 측정되었다. 그러나 배합 시 단위시멘트량이 400kg/m³ 이상인 경우의 배합에서는 슬럼프가 다소 크게 나타났다. 이는 W/C비가 동일한 배합이므로 단위시멘트량과 단위수량의 증가로 인하여 공기연행제 사용량을 감소하여도 슬럼프가 상대적으로 크게 나타난 것으로 판단된다.

표 8. 공기연행제 첨가 시 슬럼프와 공기량의 측정된 값

Mix	D _{max} (mm)	Slump(mm)	Air (%)	W/C	S/a	Unit Content (kg/m ³)				Admixture	
						W	C	F.A.	C.A.	A.E.A.	S.P.
C-326	25	75	4.4	0.45	0.38	147	326	692	1197	0.010%	-
C-375		95	5.9			169	375	654	1133	0.010%	-
C-400		155	5.8			180	400	636	1100	0.007%	-
C-425		160	5.5			191	425	616	1068	0.003%	-

표 9는 각 실험변수에 대하여 압축 및 휨강도 특성을 나타내고 있다. 실험시의 오류로 인하여 1차 실험에서 C-375의 결과값은 공학적 가치를 부여하기 어려워 삭제하였다. 동일한 W/C비에서 단위시멘트량을 증가시킬 경우 표준 배합에 비하여 어느 정도 강

도의 증가를 보였지만, 고정된 W/C비의 영향으로 인하여 강도의 증가가 명확하게 나타나지는 않았다.

표 9. 각 시험체별 압축 및 휨강도 측정값

Specimen	Compressive strength(MPa)			Flexural strength (MPa)
	3day	7day	28day	28day
C-326	15.9	18.6	22.3	-
	14.6	20.6	21.4	-
	17.8	20.1	24.9	-
Average	16.1	19.8	22.9	-
C-400	19.7	21.7	29.9	6.7
	20.6	24.8	27.8	7.2
	19.6	24.8	26.7	-
Average	20.0	23.8	28.1	7.0
C-425	20.8	24.9	28.1	8.6
	21.7	22.0	26.3	9.1
	18.4	19.1	27.2	-
Average	20.3	22.0	27.2	8.9

유럽의 콘크리트 포장의 경우 도로 사용의 약조건에서도 공용수명의 증가와 내구성 강화를 위하여 재령 28일 휨강도 7.5MPa 이상을 요구하는 경우가 있다. 1차 배합실험 결과, C-425배합의 경우 압축강도의 특별한 증가를 보이지는 않았지만 휨강도는 단위시멘트량의 증가에 따른 강도 증가가 나타났으며 이는 유럽의 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 또한 국내 일반적인 도로포장 콘크리트의 경우 28일 휨강도 4.5MPa의 기준을 제시하는데 반하여 유럽의 경우 90일 재령시 압축강도 55MPa 이상을 요구하고 있는데 이는 5.5MPa 이상의 휨강도 값으로 추정환산할 수 있으므로 1차 배합실험결과를 기초로 하여 W/C비에 많은 영향을 받는 압축강도의 증진을 위하여 W/C비의 조정이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 실험의 목적상 공용수명의 증가와 그에 따른 콘크리트 내구성과 강도 증가를 위하여 W/C비를 조정하여 최적의 배합을 유도할 필요가 있을 것으로 판단된다.



3.3 2차 배합실험 및 결과

고강도 고내구성의 콘크리트를 제작하여 생애주기적으로 장기공용성을 제공하고 보수보강 비용을 감소하여 경제적인 시멘트콘크리트 포장 배합개발을 위하여 배합 시 낮은 W/C비와 S/a를 가지는 것이 유리하다고 판단하였다. 1차 배합실험에서, 목표공기량을 확보하는 경우 단위시멘트량이 375kg/m³, 400kg/m³, 425kg/m³인 배합에서 과도한 슬럼프가 발생함을 확인하였고 이에 따라 단위수량 및 잔골재율을 감소할 수 있을 것으로 판단되어 W/C비와 S/a를 변수로 하여 배합을 실시하였으며, 혼화제는 S사의 제품과 D사의 제품을 사용하였고, 배합에 따른 콘크리트의 재료분리 및 배합상태를 육안 및 촉감으로 확인하였다.

3.3.1 S사의 혼화제 적용

2차 배합실험 중 S사에서 개발된 혼화제를 활용하여 배합을 실시하였으며, 각 변수에 대하여 필요로 하는 슬럼프 및 공기량의 확보 가능유무와, 재료분리 등의 경화전 콘크리트의 상태를 확인하였다.

(1) C-375배합에 대한 W/C=0.40 고정, S/a=0.34와 0.38 변수에 따른 배합실험

표 10은 C-375 배합에 대하여 W/C비=0.40로 고정하고 S/a를 0.34와 0.38로 변화하여 배합실험을 실시한 결과이다. 배합결과 낮은 S/a로 인한 거친 배합 또는 재료분리의 문제점은 없는 것으로 판단되었고, W/C비=0.40의 경우에서도, 공기연행체만으로

표 10. C-375배합에 대하여 W/C=0.40 고정, S/a=0.34, 0.38 변수에 따른 배합 결과

D _{max} (mm)	Slump (mm)	Air (%)	W/C	S/a	Unit Content(kg/m ³)				Admixture	
					W	C	F.A.	C.A.	A.E.A	S.P
25	35	5.5	0.40	0.38	150	375	596	1204	0.010%	-
	45	8			150	375	596	1204	0.013%	-
	25	5.5			150	375	666	1131	0.010%	-
	45	8.5			150	375	666	1131	0.013%	-

로도 목표 슬럼프를 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 만약 다른 변수의 발생으로 인하여 목표 슬럼프의 확보가 곤란한 경우 감수제(표준형 및 고성능)의 사용으로 충분한 슬럼프 확보가 가능할 것으로 판단된다.

(2) C-400, C-425배합에 대한 W/C=0.40, S/a=0.34 고정 배합 실험

표 11은 C-400배합과 C-425배합에 대하여 W/C비=0.40, S/a=0.34의 배합을 실시한 결과이다. 콘크리트의 배합은 잔골재율(S/a)이 작아질수록 작업성이 나빠지고 배합 시 재료 분리가 우려된다. 그러나 위의 실험에서 C-375배합의 경우 W/C비=0.40, S/a=0.34의 경우에도 충분한 배합이 가능하였기 때문에 단위시멘트량이 증가된 C-400과 C-425의 경우는 W/C비=0.40와 S/a=0.34에 대하여만 배합을 실시하였다. 배합결과 단위시멘트량을 400kg/m³ 및 425kg/m³으로 증가한 경우에도 W/C비=0.40, S/a=0.34의 배합에서 배합상의 큰 문제 없이 공기연행체만으로도 필요로 하는 공기량 및 슬럼프의 확보가 용이한 것으로 판단되었고, 거친 배합 또는 재료분리의 문제점은 없는 것으로 나타났다.

표 11. C-400, C-425 배합에 대하여 W/C=0.40, S/a=0.34 고정 시 배합 결과

D _{max} (mm)	Slump (mm)	Air (%)	W/C	S/a	Unit Content(kg/m ³)				Admixture	
					W	C	F.A.	C.A.	A.E.A	S.P.
25	60	7	0.40	0.34	160	400	579	1171	0.010%	-
	30	5			160	400	579	1171	0.009%	-
	30	4.5			160	400	579	1171	0.007%	-
	60	5			170	425	563	1139	0.010%	-

3.3.2 D사의 혼화제 적용

2차 배합실험 중 D사에서 개발한 공기연행체와 폴리카본산계 고성능 AE감수제(PC감수제)를 활용하여 배합을 실시하였으며, 각 변수에 대하여 목표슬럼프 및 목표공기량의 확보 가능 유무와, 재료분리 등의 배합상태를 확인하였다.



(1) W/C=0.40 고정, S/a=0.34 고정 시 공기연행제만을 첨가한 실험

표 12는 D사의 공기연행제를 사용하여 C-375, C-400, C-425배합에 대하여 W/C비=0.40, S/a=0.34의 배합을 실시하였으며 공기연행제만을 가지고 배합을 한 결과 목표공기량을 확보할 경우 슬럼프가 매우 작게 나타났다. 또한 배합상태를 확인하였을 때 거친 상태로 어느 정도 재료분리가 의심되었다. 따라서 감수제를 병행하여 사용해야 할 것으로 판단된다.

표 12. W/C=0.40, S/a=0.34 고정 시 배합 결과 (공기연행제 첨가)

d _{max} (mm)	Slump (mm)	Air (%)	W/C	S/a	Unit Content(kg/m ³)				Admixture	
					W	C	F.A.	C.A.	A.E.A.	S.P.
25	25	7.5	0.40	0.34	150	375	596	1204	0.025%	-
	15	7			160	400	579	1171	0.030%	-
	18	6.8			170	425	563	1139	0.035%	-

(2) W/C=0.40 고정, S/a=0.34 고정 시 공기연행제와 PC감수제를 첨가한 실험

표 13은 동일한 배합에 대하여 공기연행제와 PC감수제를 첨가하여 배합을 실시한 결과이다. 공기연행제와 PC감수제를 사용한 배합 결과 목표로 하는 슬럼프와 공기량을 충분히 확보할 수 있는 것으로 판단되고, 배합상태를 확인한 결과 거친 배합 또는 재료분리의 문제점은 없었다. 또한 PC감수제의 경우 제조사에서 제시하는 표준사용량(0.2~2.8%)까지 활용 여유가 남아있어 다른 변수로 인하여 목표 슬럼프 확보가 곤란할 경우에도 PC감수제의 사용량을 증가시켜 충분히 원하는 슬럼프를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

표 13. W/C=0.40, S/a=0.34 고정 시 배합 결과 (공기연행제+PC감수제 첨가)

D _{max} (mm)	Slump (mm)	Air (%)	W/C	S/a	Unit Content(kg/m ³)				Admixture	
					W	C	F.A.	C.A.	A.E.A.	S.P.
25	40	6	0.40	0.34	150	375	596	1204	0.015%	0.15%
	30	4.5			160	400	579	1171	0.015%	0.15%
	70	7			170	425	563	1139	0.015%	0.15%

4. 결론

본 연구에서는 국내 시멘트콘크리트 포장의 고강도 고내구성을 지향하고 생애주기적으로 경제적인 배합을 도출하기 위하여 시멘트량 등의 변수에 대하여 다양한 실험적 연구를 수행하였으며 그 결과에 따라 다음의 표 14와 같은 배합을 최적배합으로 제시한다.

표 14. 고강도 고내구성 콘크리트 포장의 최적배합비(제안)

D _{max} (mm)	Slump (mm)	Air (%)	W/C	S/a	단위량(kg/m ³)				Admixture	
					W	C	F.A.	C.A.	A.E.A.	S.P.
25	40	5±1	0.40	0.34	150	375	596	1204	0.015%	0.15%
					160	400	579	1171		
					170	425	563	1139		

최적배합표는 콘크리트 포장 시 포장타설장비(Paver)를 이용한 기계포장을 예상하여 슬럼프 40mm로 결정하였고, 동결융해 방지를 위하여 공기량을 5%로 결정하였다. 또한 시공 시 재료수급의 원활함을 위하여 굵은골재 최대 치수를 25mm로 결정하였다. 도로의 장수명을 위한 고강도 배합을 위해 낮은 W/C비와 단위시멘트량의 증가가 요구되는데 예비실험 결과 공기연행제와 폴리카보산 고성능 AE 감수제를 사용하여 W/C비를 0.40까지 낮추어도 단위시멘트량 375kg/m³, 400kg/m³ 및 425kg/m³에 대하여 충분히 목표 슬럼프를 가지는 배합이 가능한 것으로 나타났다. 또한 S/a는 최근 환경문제로 인한 잔골재의 수급이 어려워짐으로 인하여 경제적인 콘크리트를 제작하기 위하여 S/a를 낮게 하는 것이 유리한데, 예비실험 결과 S/a를 0.34까지 낮추어도 골재의 분리 등의 문제를 보이지 않고 충분히 배합이 가능하였다. 이는 단위 시멘트페이스트 양의 증가로 인한 점착력 증가와 워커빌리티의 향상에 의한 것으로 판단된다. 이 연구(Part I)에서 제시된 최적배합을 활용하여 콘크리트의 기초물성인 강도및 내구성에 대한 연구는 연계되는 논문(Part II)에서 상세히 다루고자 한다.



참고 문헌

강재수(1998), 도로계획과 설계, 도서출판 엔지니어즈

건설교통부(2008), 한국형포장설계법 개발

A GLANCE AT THE BELGIAN EXPERIENCE IN CONCRETE PAVEMENTS "Special edition on the occasion of the 10th International Symposium on concrete Roads", Brussels, 2006.

건설교통부(2005), "도로현황조사"

건설교통부 홈페이지(www.moct.go.kr)

한국도로공사(1994), 건설공사 품질시험편람

이길용(1991), "고속도로 포장설계법 비교", 고속도로, 한국도로공사

한국도로공사(1988), 중부고속도로 건설지

한국도로공사(2005), 시멘트콘크리트 설계기준 배합표 (개정)

국토해양부(2009), 도로공사 표준시방서

접 수 일: 2009. 3. 12
 심 사 일: 2009. 3. 18
 심사완료일: 2009. 9. 7