

김포공항 활주로 개선 콘크리트 포장으로 공용성 확보 시공

(내염 · ASR억제형 시멘트 적용)



윤 경 구 | 강원대학교 토목공학과 교수
 최 준 용 | 한국공항공사 서울지역본부 토목조경팀 팀장
 최 재 범 | 한국공항공사 서울지역본부 토목조경팀 대리
 박 철 | 쌍용양회공업(주) 기술연구소 선임연구원

1. 적용 배경

1.1 공항 콘크리트 포장 특성 및 현황

공항은 국가 주요 기반시설로서 공항시설물 중 활주로 및 유도로 등은 항공기의 이동, 이착륙을 위한 핵심시설물이라 할 수 있다. 따라서 하자 발생 및 보수 시 항공기의 운행 안전성, 과도한 보수비용의 발생, 운행지연에 따른 경제적 손실 등의 문제가 발생하므로 활주로 포장의 내구성 확보는 무엇보다 중요하다 할 수 있다.

특히, 공항 활주로의 콘크리트 포장은 일반 도로 콘크리트 포장에 비해 더 큰 하중이 작용하므로 높은 강도와 고내구성이 요구되어 높은 단위시멘트량을 갖는 배합이 적용된다. 하지만 그럼에도 불구하고 현재 다양한 유형의 파손이 다수 발생하고 있어서 잦은 유지보수가 행해지고 있는 실정이다.

국내 콘크리트 포장은 긴급 유지보수와 같은 특별한 경우를 제외하고는 보통 포틀랜드 시멘트 사용이 일반화되어 있다. 콘크리트 포장의 파손원인은 주로 알칼리-골재반응, 동결융해 작용, 제설제의 사용에 의한 열화와 함께 온도변화에 따른 수축과 팽창, 슬래브 자체의 결함과 하부구조의 결함으로 인한 파손 등 다양한 원인에 의해 발생하는 것으로 보고되고 있다.

따라서 이러한 다양한 원인을 고려한 포장 콘크리트의 성능개선 및 장수명화를 위해서는 강도발현 뿐만 아니라 내구성, 수밀성, 균열저항성 등이 우수한 기능성 시멘트 재료 개발 및 적용이 필요하다고 할 수 있다.

1.2 문제점 및 대안 수립

최근 국내에서는 알칼리-실리카골재반응(Alkali-

Silica Reaction, 이하 ASR)에 의한 손상이 콘크리트 포장의 열화 요인으로 지적되고 있다. ASR은 동결기 다량의 제설제 사용에 따른 염해와 동결융해에 의한 콘크리트 표면의 박리현상 등과 함께 콘크리트 포장의 열화를 가속화하는 주요 요인이 되고 있다. 공항 특성상 ASR, 염해, 동결융해 등의 열화요인에 의해 콘크리트의 균열, 박리 등이 발생하게 되면 항공기 주행 안전에 영향을 미칠 뿐만 아니라 콘크리트 파편이 항공기 엔진에 유입될 경우 심각한 사고의 요인이 될 수 있다. 따라서 콘크리트 포장의 내구성 개선이 요구된다 할 수 있다.

국토교통부에서는 2011년부터 3년간 건설기술혁신사업의 일환으로 '저탄소 녹색공항 포장 시공 및 유지관리 기법개발 연구(2011.12~2014.12)'를 추진하였다. 해당 연구과제에서는 공항포장관련 전 분야에 대해서 공항포장 구조물의 성능을 향상시킬 수 있는 연구가 이루어졌으며 그 중 재료 개발분야에서는 강원대학교 및 쌍용양회가 공동으로 역학적 성 및 내구성 측면(내염, ASR억제, 수축저감)에서 향상된 품질의 포장 콘크리트 제조가 가능한 내염·ASR억제형 시멘트를 개발하였다. 개발된 시멘트는 단계적으로 실내 및 현장시험을 통해 그 성능을 검증하였으며, 실무 적용 및 검증을 위하여 "2016년도 김포공항 구활주로 및 유도로 시종단 재포장 공사"에 적용하였다.

2. 내염·ASR억제형 시멘트 특성

「내염·ASR억제형 시멘트」는 내구성 향상을 위해 최적화된 배합비로 보통 포틀랜드 시멘트의 일부를 광물질 혼합재 및 특수첨가재로 치환하여 공장 제조하였으며, 공항포장용만이 아닌 일반 도로의 신설·유지보수용 포장 콘크리트 용도로도 적합한 품질을 갖도록 하였다. 개발된 시멘트는 콘크리트 포장의 복합열화(염해와 동해, 염해와 알칼리-골재반응), 건조수축에 의한 균열발생 현상을 억제하여 포장콘

크리트의 내구성명을 대폭 향상시킬 수 있는 친환경 고기능성 시멘트 재료라 할 수 있다.

3. 실내시험(김포공항 구활주로 대상) 결과

3.1 사용재료 및 평가항목

「내염·ASR억제형 시멘트」는 단계적인 실내시험 및 현장적용 시험을 통해 기존 재료대비 품질 성능의 개선을 확인하였으며, 김포공항 구활주로를 대상으로 한 배합조건을 모사하여 최종 성능 확인 평가를 추진하였다. 사용재료 중 골재 및 혼화제는 김포공항 구활주로 포장공사 시 콘크리트 제조 및 납품 예정 레미콘 공장(E사)의 재료를 입수하여 평가하였다. 사용재료, 배합조건, 평가항목을 표 1~표 3에 나타내었다.

표 1. 하중특성에 따른 계측데이터의 분류

시료조건		내 용
시멘트		보통 포틀랜드시멘트(이하 OPC*) / 내염·ASR억제형시멘트(이하 DPC*)
골재	잔골재	세척사(S1), 쇄사(S2)
	굵은골재	쇄석(G _{max} 25mm)
혼화제		고성능AE감수제

* OPC : Ordinary Portland Cement

* DPC : Durable Pavement Cement(내염·ASR억제형 시멘트)

표 2. 콘크리트 배합 (규격 : 25-휨4.5-40)

구분	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight (kg/m ³)					
			C	W	S(1)	S(2)	G	AD (%)
OPC	35.0	36.0	420	147	313	316	1161	C×0.5
DPC	35.0	36.0	420	147	310	313	1150	

표 3. 평가 항목

평가항목	평가내용	비 고
굳지않은 콘크리트	슬럼프	KS F 2402
	공기량	KS F 2421
강도특성	압축강도	3, 7, 28일 KS F 2405
	휨강도	7, 28일 KS F 2408
내염특성	7, 28일 (염소이온침투저항성)	ASTM C 1202
수축특성	길이변화율	KS F 2424
내동해성	동결융해저항성	KS F 2456
알칼리-골재반응성	팽창률	ASTM C 1260
표면박리 저항성	표면박리량	ASTM C 672

3.2 평가결과

3.2.1 굳지않은 콘크리트

굳지않은 콘크리트 특성을 표 4에 나타내었다. 슬럼프는 OPC의 경우 45mm, DPC의 경우 30mm로 측정되었으며, 공기량은 3.4% 수준으로 다소 낮았으나, 동일한 수준의 굳지않은 콘크리트 품질로 재료간 특성비교가 가능하였다.

표 4. 굳지않은 콘크리트 물성

구 분	Slump(mm)	Air(%)
OPC	45	3.4
DPC	30	3.4

3.2.2 강도특성

압축강도 및 휨강도 특성을 그림 1 및 그림 2에 나타내었다. 압축강도의 경우 초기 개방을 대비하여 재령 5일, 7일, 28일에서 측정하였다. 재령 5일 압축강도의 경우 OPC 48MPa, DPC 46MPa 수준으로 광물질 혼합재를 사용한 DPC의 재료 구성을 고려했을 때 OPC와 근접한 강도특성을 나타냈다. 이는 광물질 혼합재의 수화개선을 위해 첨가한 특수 첨가제의 효과로 판단되며, 28일 강도에서는 동등 이상의 강도발현이 확인되었다.

휨강도의 경우 5일 재령에서 OPC 7.3MPa, DPC 7.2MPa로 동일한 역학적 특성이 확보되는 것을 확인하였다. 따라서 기존재료 대비 DPC 사용 시에 교통 개방시간의 지연요인은 없을 것으로 판단되었다.

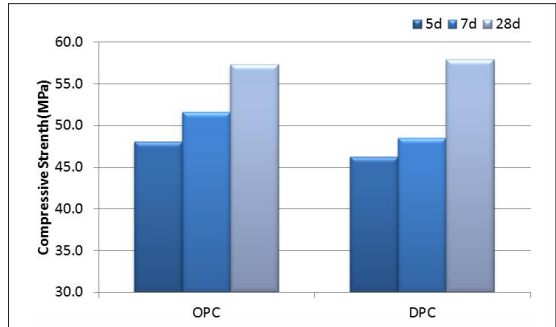


그림 1. 압축강도 평가 결과

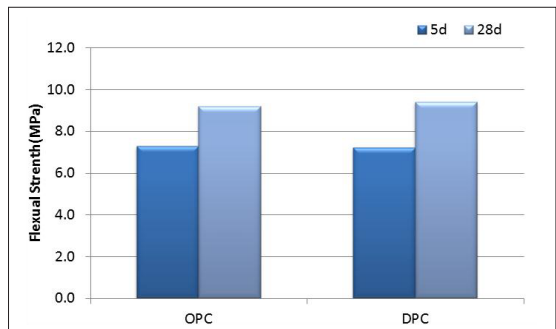


그림 2. 휨강도 평가 결과

3.2.3 내염특성

ASTM C 1202 시험방법에 의한 염소이온 침투 저항성 결과를 표 5 및 그림 3에 나타내었다.

염소이온 침투 저항성의 경우, 외부 열화인자의 침투저항성 및 콘크리트 내부조직의 치밀성을 간접적으로 판단해 볼 수 있는 지표로, 실험결과 DPC 사용조건에서 OPC 대비 높은 염소이온 침투 저항성이 확인되었다. 이는 DPC 구성재료 중 광물질 혼합재의 수화 및 광물질 혼합재의 수화를 개선하기 위한 첨가제의 효과로 콘크리트 내부 수화조직을 치밀하게 해주어 외부열화인자에 대한 저항성이 매우 높을 것으로 판단된다.

표 5. 염소이온 침투저항성 평가 결과(ASTM C 1202)

구분	염소이온 침투저항성 (Coulomb)	투과성 기준
OPC	1347	4000 이상 : 높음 2000~4000 : 높음 1000~2000 : 낮음
DPC	352	100~1000 : 매우낮음 100 이하 : 무시가능

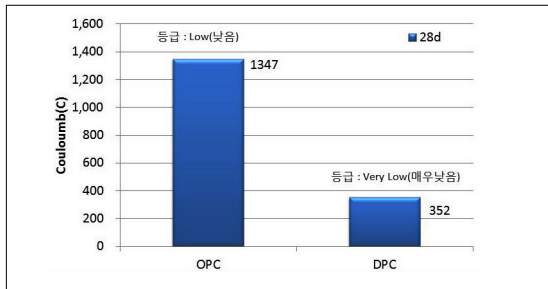


그림 3. 염소이온 침투저항성 평가 결과(ASTM C 1202)

3.2.4 건조수축 특성

콘크리트 건조수축 특성평가 결과를 그림 4에 나타내었다. 콘크리트 포장의 경우 구조적으로 넓은 노출면적을 갖는 평판형 구조로서 건조수축에 의한 균열제어가 매우 중요하다 할 수 있다. 특히 콘크리트 타설 이후 타설 상부면의 양생이 충분하지 않을 경우, 건조수축은 더욱 가속화될 수 있다. KS F 2424 시험방법에 의한 건조수축 특성 평가 결과 OPC 대비 DPC 수준의 수축저항성이 높은 것으로 확인되었다. 이는 광물질 혼합재의 초기수화를 개선

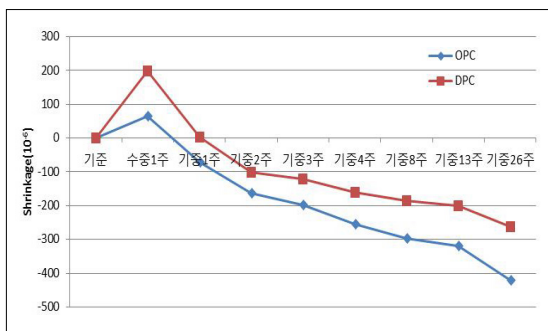


그림 4. 콘크리트 건조수축 평가결과

하기 위한 첨가재의 효과로, 초기에 수화물 형성을 개선해 주어 수축제어에 효과를 나타낸 결과로 판단할 수 있다.

3.2.5 내동해성

콘크리트 포장의 경우 대부분 외기환경에 직접 노출되며, 특히 국내 기후 여건상 겨울철 동결과 융해의 반복 작용으로 나타나는 열화 현상에 대한 고려가 필요하다. 본 실험에서는 공기량 수준이 3.4% 수준으로 다소 낮게 형성되었으나, 300Cycle 기준으로 상대동탄성계수 60%가 확보되어 시멘트 재료간 동결융해 저항성의 차이는 확인할 수 없었다.

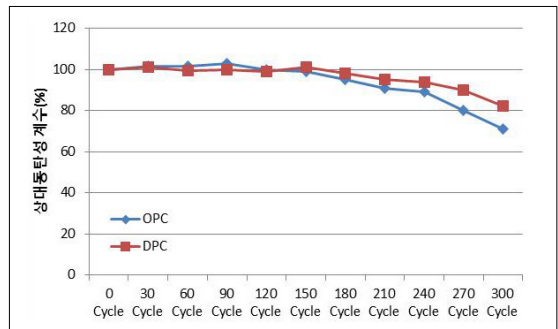


그림 5. 콘크리트 동결융해 저항성 평가결과

3.2.6 알칼리 골재반응 특성(ASR)

최근 국내에서는 알칼리-실리카골재반응에 의한 손상이 콘크리트 포장의 주된 열화 요인으로 지적되고 있다. 이에 대하여 ASTM C 1260(Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-bar Method)) 시험방법에 의한 ASR 특성 평가 결과를 표 6에 나타내었다.

ASR 실험은 반응성이 확인된 골재(일본산)와 레미콘 공장에서 사용중인 현장 골재를 입수하여 평가하였다. 평가 결과 반응성이 확인된 골재를 사용한 경우 OPC는 '유해', DPC는 '무해'로 판별되는 팽창율을 나타냈으며, 현장골재를 사용한 경우에는 OPC는 '무해하지 않음', DPC의 경우에는 '무해'로 판별되는 팽창률을 나타냈다. ASR의 경우 외부

로부터 유입되는 알칼리 성분과 골재의 실리카 성분이 반응하여 팽창성 물질을 생성하는 현상으로, DPC의 경우 시멘트 내부에 알칼리 함량이 상대적으로 낮으며, 수화조작이 치밀하여 외부로부터 알칼리 성분의 공급이 효과적으로 제어된 결과로 판단된다.

표 6. 촉진 모르타르공법에 의한 팽창량(ASTM C 1260)






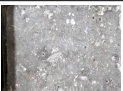
구분	팽창률 (%)	판정	비고
반응성 골재	OPC	0.343	유해
	DPC	0.017	무해
현장 골재	OPC	0.130	무해하지 않음
	DPC	0.010	무해

팽창률 : 0.1% 미만 : 무해
 팽창률 : 0.1~0.2% : 무해하지 않음
 팽창률 : 0.2% 이상 : 유해

3.2.7 표면박리 저항성

ASTM C 672(Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surface Exposed to Deicing Chemicals) 시험방법에 의한

표 7. 표면박리 저항성 평가 결과(시각등급)

구분	OPC		DPC	
	시편사진	Visible Rating*	시편사진	Visible Rating*
초기		Rating 0 (No Scale)		Rating 0 (No Scale)
25 Cycle		Rating 0 (No Scale)		Rating 0 (No Scale)
50 Cycle		Rating 0 or 1 (No Scale or Very slight scaling)		Rating 0 or 1 (No Scale or Very slight scaling)

* Visible Rating

등급	표면의 시각적 상태
0	No Scaling
1	Very light scaling
2	Slight to moderate scaling
3	Moderate scaling
4	Moderate severe scaling
5	Severe scaling

콘크리트 표면박리 저항성 평가 결과를 표 7 및 표 8에 나타내었다. 표면박리 저항성 시험은 제빙염(제설제)에 노출된 콘크리트 표면의 동결융해에 의한 표면박리저항성을 측정하는 시험으로 시편 상부에 염화칼슘 수용액(4g/100ml)을 노출시킨 상태에서 동결융해 촉진Cycle을 통해 노출된 표면의 상태를 시각적으로 관찰하여 그 상태를 등급화하여 평가하는 시험방법으로 일반적으로 50Cycle을 진행하며, 박리량을 측정하게 된다.

본 실험결과 표 7에서 나타냈듯이 50Cycles 경과 후 표면 시각적 상태 판정 시 OPC 및 DPC 수준 모두 '1등급'을 만족하는 것으로 나타났다. 촉진시험간 측정된 박리량은 표 8에 나타났다.

표 8. 표면박리 저항성 평가 결과(박리량)

측정	누적 Cycle	OPC		DPC	
		①	②	①	②
1회	5	0.7	1.1	0.9	0.8
2회	10	0.6	0.3	0.4	0.7
3회	15	0.8	0.8	0.8	0.7
4회	20	0.5	0.7	0.4	0.2
5회	25	0.4	0.3	0.3	0.3
6회	30	0.3	0.3	0.1	0.2
7회	35	0.2	0.3	0.1	0.1
8회	40	0.1	0.2	0.2	0.1
9회	45	0.2	0.1	0.2	0.1
10회	50	0.1	0.2	0.2	0.1
합계 (g)		3.9	4.3	3.6	3.3
단위면적당 박리량 (kg/m ²)		0.085	0.094	0.078	0.072
시편단면적(노출면적)		0.045m ²			

3.3 실내배합 시험 검토 결과

김포공항 구활주로를 대상으로 한 실내배합 시험 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 역학적 특성(압축강도, 휨강도)에서는 DPC는 기존재료인 OPC와 비교하여 동등 수준의 품질확보가 가능한 것을 확인.

- 내구특성 측면에서는 DPC 사용을 통해 수축, 내염, ASR 저항성의 개선이 가능하며, 동결융해저항성, 표면박리 저항성은 기존재료인 OPC와 동등한 품질의 확보가 가능할 것으로 판단됨.

결론적으로 DPC 사용을 통해 기존재료의 역학적 특성을 만족하면서, 내구특성을 효과적으로 개선하여 공항 포장콘크리트의 품질 향상이 가능할 것을 판단된다.


4. 실무 적용 결과

4.1 공항 포장 개량 사업 실무 적용

김포공항 구활주로 및 평행 유도로 양 시단 하부의 콘크리트는 노후화(20년 이상) 및 ASR반응에 의한 지속적이고 반복적인 포장 파손 및 변형 발생으로 항공기 안전운항을 위협함에 따라 근본적인 원인 제거를 통한 항공기 안전운항 확보를 위하여 전단면 재포장 공사(t=42cm)를 시행하게 되었다.

표 9. 사업 개요

- 사업 명 : 2016년 김포공항 구활주로 및 유도로 시중단 재포장 공사
- 공사 기간 : 2016. 04. 11 ~ 12. 15
- 공사 내용 : 콘크리트 전단면 재포장 공사 (T = 42cm, A = 48,012㎡)
- 공사 위치



- 적용 콘크리트 배합표

구분	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight (kg/m³)					
			C	W	S(1)	S(2)	G	AD (%)
살내시험적용	35.0	36.0	420	147	310	313	1150	B×0.5
현장적용	32.1	36.7	405	130	335	335	1164	

*생산공장 원재료 조건에 따라 일부 배합 변경

활주로 폐쇄 없이 공항 운영과 사업시행을 병행해야 하는 현장 여건에 따라 콘크리트 포설은 6~7월, 9~10월 총 2단계에 걸쳐 진행되었다. “내염·ASR 억제형 시멘트”를 적용한 특수레미콘의 균일한 생산 및 조달을 위하여 김포공항에서 30분 이내 위치한 레미콘 공장을 선정하였으며, 품질 확보를 위하여 야간 포장 공사를 시행하였고 현장 도착 후 굳지 않은 콘크리트는 평균 슬럼프 25~35mm, 공기량 4~5%로 맞추어 시공하였다.

4.2 현장 강도 시험 및 결과

현장 강도 시험은 ‘국토교통부 레미콘·아스콘 품질관리 지침’ 기준에 따라 시행하였으며, 일반적으로 공항 콘크리트 포장은 휨강도(28일 4.5MPa)를 주 기준으로 적용하므로 굳은 콘크리트에 대한 휨강도 측정을 중점적으로 실시하였으며, 공항 운영 특성에 따른 조기개방을 위한 강도 발현 확인을 위하여 7, 28일 강도로 진행하였으며, 그 결과를 그림 6에 나타내었다.

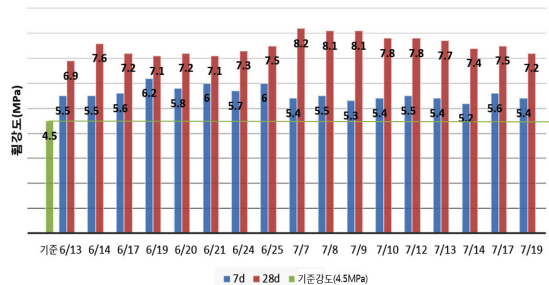


그림 6. 휨강도 결과

품질 강도시험 결과, 대부분의 7일 재령 휨강도가 28일 기준 강도(4.5MPa)를 이미 초과하고 있는 것을 볼 수 있다. 콘크리트 시방기준에 따라 28일 양생 후 교통 개방하는 것이 가장 이상적이지만, 현재 세계적으로 경제성 및 운영 효율성에 따라 포장 강도가 허용기준 이상일 경우 조기 개방하는 추세로 말미암아 현장 시공 및 양생 관리상태가 양호하다면

조기 개방 및 공사기간 단축에도 효과가 있을 것으로 판단된다.

6. “내염·ASR억제형 시멘트” 실무 적용 검토 결과

앞서 실내시험 및 현장 시험 결과에서 볼 수 있듯이 콘크리트의 역학적 특성 및 내구 특성 모두 일반 OPC 대비 향상된 결과를 도출할 수 있었으며, 실제 포장 공용성 면에서도 외부 영향에 의한 내구성이 강화되어 기대수명 증가 등 장기 공용성 향상 역시 기대되고 있다. 특히, 본 재료의 가장 큰 특징인 ASR 반응에 대한 억제력은 저가의 중국산 골재 수입이 많아지고, 양질의 국내 석산이 줄어드는 현 시점에서 건설현장의 품질관리 및 장기 공용성 확보에

지대한 영향을 미칠 것으로 기대된다. 또한 과거 플라이애쉬를 첨가하여 ASR현상에 대응하였다면 이제는 시멘트 완제품 사용만으로 ASR반응을 억제할 수 있으며, 조기 강도 발현이 우수한 면에서도 공항이나 도로 같이 조속한 교통 개방을 이끌어야 하는 현장에서 보다 효과적인 적용이 가능할 것이다.

본 재료의 현장 적용에 있어 포장 공용성을 확인하고 적합여부를 판단하기에는 아직 시기상조라 볼 수 있다. 하지만 지속적인 포장 상태 모니터링을 통하여 재료의 적정성을 평가하고, 양호한 경우 전국 공항 또는 도로 등 전국 콘크리트 포장 현장에 적용된다면 내염 및 ASR반응이라는 고질적인 취약점을 극복한 전반적인 콘크리트 품질 향상으로 사용자와 관리자에게 보다 나은 환경을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

학회지 광고접수 안내

본 학회지에 게재할 광고를 모집합니다. 우리 학회지는 계간으로 매회 2,100부를 발간하여 회원과 건설관련 기관에 배포하고 있습니다. 회사 영업신장과 이미지 제고를 원하시는 업체는 우리 학회지에 광고를 실어주시기 바랍니다.

광고료 : 표2 · 표3 · 표4(300만원) · 간지(200만원)
※ 상기금액은 연간(4회)광고료임.

사단법인 **한국도로학회**
전화 (02) 3272-1992 전송 (02) 3272-1994